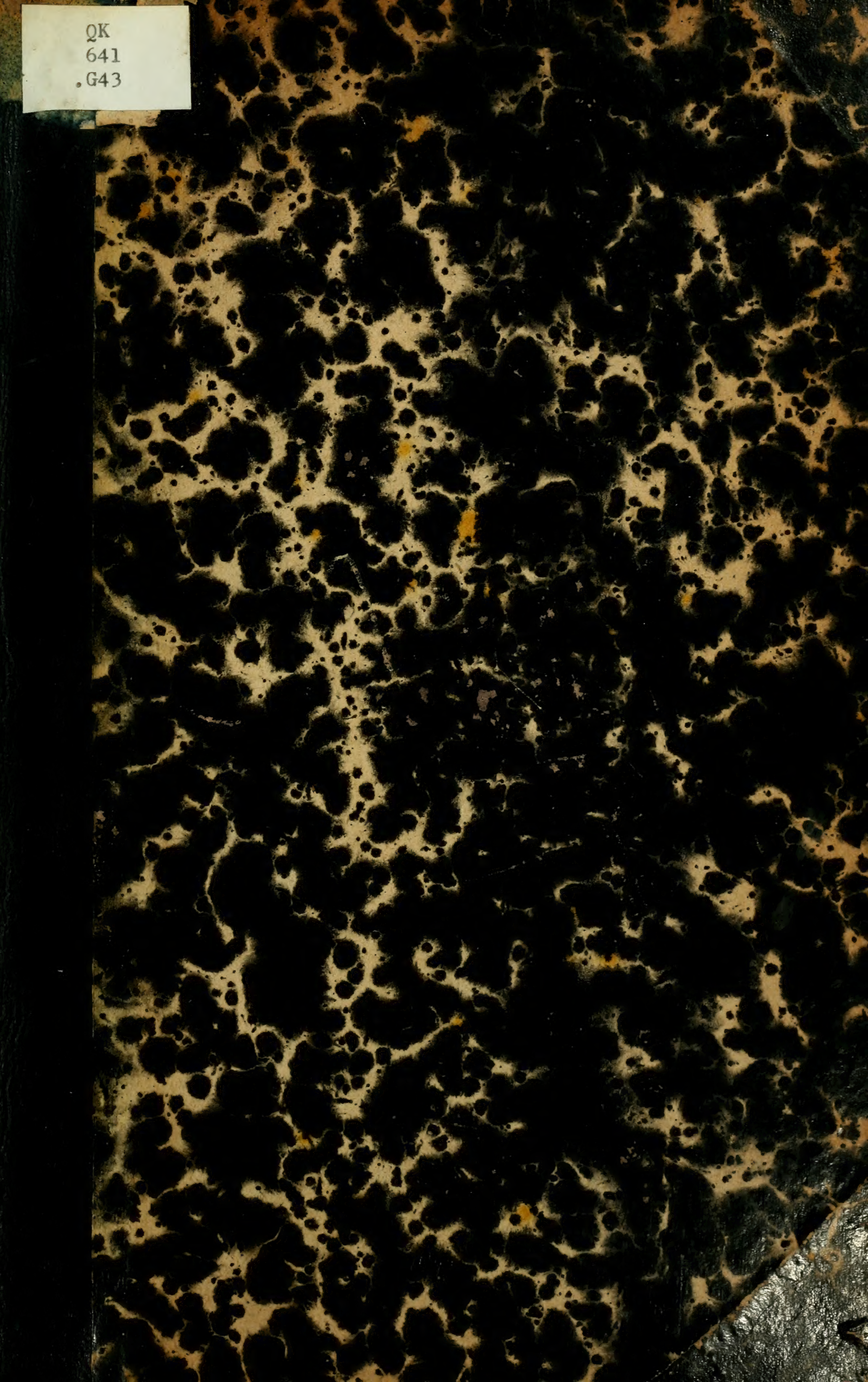
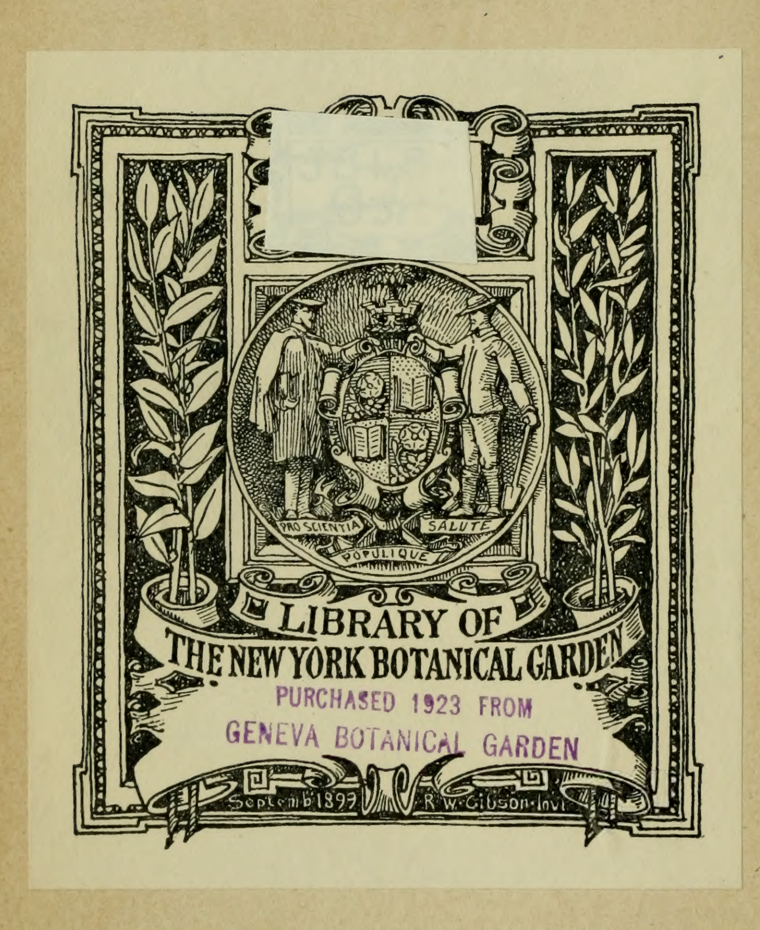

QK
641
.G43


PRO SCIENTIA
SALUTE
POPULIQUE
LIBRARY OF
THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN
PURCHASED 1923 FROM
GENEVA BOTANICAL GARDEN
Septemb 1897
R. W. Gibson Inv

A mes oncles et tante

Hommage de leur bien affectionné

Gérard

Série V, N° 44.
N° D'ORDRE
467

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

R. GÉRARD

Maître de conférences à l'École supérieure de Pharmacie de Paris.

1re THÈSE. — Recherches sur le passage de la racine a la tige.

2e THÈSE. — Propositions données par la faculté.

Soutenues le novembre devant la commission d'examen

MM. H. MILNE EDWARDS	*Président.*
DUCHARTRE	*Examinateurs.*
VAN TIEGHEM.	

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de médecine

1881

ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

Doyen	MILNE EDWARDS, Professeur.	Zoologie, Anatomie, Physiol. comparée.
Professeurs honoraires.	DUMAS.	
	PASTEUR.	
Professeurs	P. DESAINS	Physique.
	LIOUVILLE	Mécaniq. rationnelle.
	PUISEUX	Astronomie.
	HÉBERT	Géologie.
	DUCHARTRE	Botanique.
	JAMIN	Physique.
	SERRET	Calcul différentiel et intégral.
	DE LACAZE-DUTHIERS	Zoologie, Anatomie, Physiol. comparée.
	BERT	Physiologie.
	HERMITE	Algèbre supérieure.
	BRIOT	Calcul des probabilités, Physiq. math.
	BOUQUET	Mécanique, physique et expérimentale.
	TROOST	Chimie.
	WURTZ	Chimie organique.
	FRIEDEL	Minéralogie.
	OSSIAN BONNET	Astronomie.
	DARBOUX	Géométrie supérieure
	N.	Chimie.
Agrégés	BERTRAND	Sciences mathémat.
	J. VIEILLE	*Id.*
	PELIGOT	Sciences physiques.
Secrétaire	PHILIPPON.	

PARIS. — IMPRIMERIE EMILE MARTINET, RUE MIGNON, 2

A

MM. DUCHARTRE & CHATIN

MEMBRES DE L'INSTITUT.

Hommage de respect et de reconnaissance,

R. GÉRARD.

RECHERCHES

SUR

LE PASSAGE DE LA RACINE A LA TIGE

Par R. GÉRARD,

Maître de conférences à l'École supérieure de pharmacie de Paris.

I. — INTRODUCTION

On connaît aujourd'hui d'une façon suffisamment complète la structure de la tige et de la racine chez les plantes vasculaires. Il est inutile d'exposer en détail l'évolution historique de cette question. Depuis que l'anatomie et l'histologie végétales ont fait l'objet d'études attentives, un grand nombre de savants ont analysé successivement tous les points de l'organisation de ces organes. Toutes ces recherches devaient avoir pour couronnement les beaux travaux synthétiques de MM. Nægeli, Mohl, Trécul, Van Tieghem.

En résumé, l'on sait aujourd'hui que chacun de ces deux organes possède en naissant ses caractères distinctifs. Le point végétatif de la racine donne naissance à une pilorhize, à un cylindre cortical *épais*, à un cylindre central *étroit;* le point végétatif de la tige ne produit pas de pilorhize, la puissance relative des deux cylindres est inverse : le cylindre cortical a peu d'épaisseur, le cylindre central est large. L'accroissement de la racine est surtout terminal, celui de la tige intercalaire.

Dans la tige comme dans la racine, le cylindre cortical est composé d'un tissu uniforme limité intérieurement par l'*assise protectrice*. Le cylindre central présente, au contraire, des éléments différents : extérieurement le *péricambium;* intérieurement deux autres tissus : l'un formé de cellules courtes (*tissu conjonctif*), l'autre composé d'éléments allongés et étroits, rassemblés en groupes appuyés normalement sur le péricambium. Ces groupes isolés entre eux par le tissu conjonctif

(*moelle, rayons médullaires primaires*), premiers indices des tissus conducteurs des deux sèves constituent à cette période le *procambium.*

Mais ce procambium ne représente qu'un état transitoire. Ses éléments, riches en matières nutritives, deviennent le siège de phénomènes vitaux énergiques ; modifiant leur paroi, leur contenu, les unes deviennent des trachées, éléments fondamentaux du bois ; les autres des cellules grillagées, éléments essentiels du liber. Les voies des deux sèves sont tracées.

Bien que ces phénomènes se produisent simultanément dans la tige et dans la racine, l'ordre de leur production est différent et caractéristique de chaque organe. Dans la racine, chacun des amas de procambium se transformera totalement en bois ou totalement en liber, mais avec un ordre parfait : les masses ligneuses alterneront avec les masses libériennes. Dans la tige, chacun des faisceaux procambiaux forme en même temps du bois et du liber. Les faisceaux qui étaient entièrement ligneux ou libériens dans le premier cas, sont libéro-ligneux dans le second. Ce fait est général.

Mais la différenciation va plus loin. Quel que soit l'embranchement auquel appartienne le végétal considéré, la transformation du procambium ne se fait pas simultanément en tous ses points. Dans la racine, le premier élément modifié est toujours le plus rapproché du cylindre cortical, les autres se développent successivement en direction radiale en se rapprochant du centre : *la formation est centripète.* Pour la tige des Phanérogames et des Équisétacées, c'est dans un ordre inverse que se forme le bois (le liber suit la même marche que dans la racine) : le premier élément caractérisé est le plus rapproché du centre de l'organe ; ceux qui suivent en sont de plus en plus éloignés : *le développement est centrifuge.*

Dans les autres Cryptogames vasculaires le mode de développement des faisceaux de la tige est encore tout autre que celui de la racine. Les caractères tirés de l'ordre de développement des éléments des tissus conducteurs peuvent donc être

invoqués pour caractériser la tige et la racine dans tous les végétaux vasculaires.

Ces formations sont dites primaires. Après l'organisation du procambium, le végétal subit d'autres modifications. Ce sont ou bien des changements qui intéressent individuellement chaque cellule, comme l'épaississement, la transformation de la paroi, auquel cas la disposition et la position relatives des éléments ne change pas; ou bien il se produit, aux dépens des tissus formés au début, des cellules génératrices destinées à reproduire, pendant un temps plus ou moins limité, des éléments identiques aux premiers (bois, liber, tissu conjonctif), ou même à créer des tissus nouveaux (liège). Ce sont là les formations secondaires.

A part la formation aléatoire et toujours peu importante du suber et les modifications histologiques, l'axe des Monocotylédones et des Cryptogames vasculaires conserve le faciès primaire. Il n'en est plus de même chez les Dicotylédones où, sous l'influence du cambium produisant rapidement et d'une façon continue dans le cylindre de la tige et de la racine de nouveau bois, de nouveau liber, de nouveau tissu conjonctif, le volume du cylindre central a bientôt dépassé de beaucoup celui du cylindre cortical. Un des caractères différentiels de nos deux organes s'efface, et cela si bien que, récemment encore, dans l'ignorance complète où l'on était de la structure primaire de la racine des Dicotylédones, on ne trouvait comme caractère distinctif de la racine que l'absence de moelle, caractère reconnu depuis des plus fallacieux.

Tel est l'état de nos connaissances touchant la structure de l'axe.

Quelque rapide et insuffisant que soit cet aperçu, il me permettra, je l'espère, de tirer ces conclusions : 1° Que la racine et la tige possèdent dès leur jeune âge une structure propre caractéristique ; 2° Que ces caractères, loin de s'accentuer avec l'âge, s'effacent plutôt par l'apparition d'éléments nouveaux; conséquemment : si l'on veut avoir une idée plus nette de l'organisation de ces organes, il faut les prendre à l'état primaire.

Ces préliminaires posés, comment se comportent les éléments de la tige et ceux de la racine en leur point de contact? Comment les formations centripètes de la racine se mettent-elles en relation avec les formations centrifuges de la tige? Le changement d'épiderme considéré jusqu'à présent comme la limite externe coïncide-t-il avec la limite interne? Comment s'opère le passage entre les deux parties..

C'est ce point peu connu de l'histoire de l'axe qui fait l'objet de ce mémoire.

Le sujet n'est pas entièrement neuf; il a été abordé par quelques naturalistes, mais les résultats obtenus sont fondés sur l'étude d'un trop petit nombre de plantes pour être considérés comme suffisamment établis. Il faut avoir réuni un grand nombre d'exemples pour saisir les faits généraux au milieu des faits particuliers qui, pris dans un petit nombre de cas, peuvent souvent acquérir une valeur qu'ils n'ont pas.

C'est avec cette idée que j'ai entrepris ce travail ; non seulement j'ai étudié un grand nombre de Dicotylédones, mais j'ai abordé les Monocotylédones et les Cryptogames vasculaires, ce qui n'avait pas été fait jusqu'alors.

II. — Historique

On peut diviser l'histoire de la délimitation de la tige et de la racine en deux époques. Dans la première, les caractères sont entièrement tirés de la morphologie de la plante et de la croissance en sens opposé de ses parties axiles ; dans la seconde, on s'appuie davantage sur les caractères anatomiques.

Primitivement, la limite des deux organes était un plan formant la base de deux systèmes coniques opposés : l'un ascendant la tige, l'autre descendant la racine. On donne à ce plan le nom de *Collet, collum*. Il a aussi reçu ceux de *nœud vital* (de Lamarck) et de mésophyte (Germain de Saint-Pierre). Ce dernier auteur donnant le nom de nœud vital au point où s'insère la gemmule.

Lamarck (1) donne le nom de « *Collet de la racine* à l'extrémité supérieure de la racine des plantes, c'est-à-dire à la partie de la racine qui est réunie avec la tige lorsque le végétal en est pourvu. Dans les plantes sans tige, les feuilles et les pédoncules des fleurs naissent immédiatement du collet de la racine. »

Aug.-Pyr. de Candolle revient à deux fois sur le collet. Il l'envisage comme une ligne horizontale « dont la vraie place doit être celle où l'on remarque ce changement mystérieux de direction ascendante et descendante (2) ». Plus explicite ensuite (3) : « ... Le collet et l'origine des cotylédons sont deux points fort distincts, le collet est toujours situé plus bas, mais à une distance variable des cotylédons. » Il avoue qu'il n'y a presque jamais à l'extérieur un signe visible de ce changement de nature. Il ajoute : « Il ne faut pas accorder une importance exagérée à ce collet, partie mystérieuse de l'organisation qui est plutôt la juxtaposition de deux organes qu'il n'est un organe proprement dit. » Meyen (4) a adopté cette opinion.

Aug. de Saint-Hilaire (5) exprime les mêmes idées. Il regarde le collet non comme un organe, mais comme la limite de deux organes, limite sans épaisseur, véritable plan géométrique. Quant à la situation de ce plan, il s'exprime ainsi : « Quelquefois le collet se reconnaît, surtout dans la jeunesse de la plante, à une différence de grosseur entre la tige et la racine ; mais plus souvent il est impossible de déterminer avec une parfaite précision où il se trouve placé. Cependant, quand il existe des organes foliacés souterrains, nous pouvons dire avec certitude que le collet est aussi caché sous terre, car il est inférieur à ces organes. Il ne faut pas croire que ce point se

(1) *Encyclopédie méthodique. — Botanique*, par M. le chevalier de Lamarck, 1786. Art. Collet.

(2) *Mémoire sur les Légumineuses*, par Aug. Pyr. de Candolle, t. II, p. 55 et 65.

(3) *Physiologie végétale*, par Aug.-Pyr. de Candolle, t. II, p. 663.

(4) *Pflanzen Physiologie*, III, p. 346.

(5) *Leçons de botanique*, contenant principalement la morphologie végétale, 1840, p. 27 et 77.

trouve placé immédiatement au-dessous des cotylédons; souvent il existe plus bas que ceux-ci un espace assez considérable qui appartient au système supérieur. »

Cette manière de voir a eu longtemps cours dans la science et récemment encore elle était professée. Elle était fondée sur l'accroissement brusque du diamètre de l'axe au point de jonction, accroissement qui ne se produit que chez un petit nombre de végétaux, et sur le changement d'épiderme qui donne à la partie supérieure de l'axe hypocotylé un aspect lisse et brillant, comme si elle était recouverte d'un vernis, la partie inférieure étant toujours terne et mate.

Gærtner, L.-C. Richard, Correa, Poiteau, Mirbel (1) et A. Richard regardaient le point d'attache des cotylédons comme le collet. Tout ce qui se trouvait au-dessous appartenait à la racine. Par contre, l'on a donné parfois le nom de collet à la radicule (2).

M. Clos (3), le premier, en 1849, rejette l'idée d'une séparation nette des deux organes. Pour lui le collet ne serait plus un plan, mais occuperait « toute la portion de l'axe comprise entre les cotylédons d'une part, et la base de la racine désignée elle-même par le lieu où commencent à se montrer les rangs réguliers et symétriques des radicelles. Cette nouvelle définition du collet s'appuie sur ce qu'on peut lui assigner des caractères parfaitement tranchés, tirés de sa conformation extérieure, et souvent aussi de son organisation interne. Il se distingue en effet de la souche par l'absence des radicelles, ou lorsqu'il présente des racines adventives, ce qui est rare, leur distribution est irrégulière, ou bien autre que celle qu'affectent les radicelles sur le corps de la racine. Il diffère de la tige par le manque de feuilles et de nœuds symétriquement agencés; enfin, de toutes deux par l'anatomie. Car si M. Hugo

(1) D'après de Candolle, *loc. cit.*

(2) Cauvet, *Nouveaux éléments d'histoire naturelle médicale*, 1869, t. I, p. 424.

(3) Clos. Du collet dans les plantes, etc. *Ann. sc. nat. Botanique*, série 3, t. XIII, p. 5, 1849.

von Mohl a prouvé que les vaisseaux de la tige traversent le collet, tel que l'entend de Candolle, sans éprouver d'interruption, il n'est pas moins vrai que c'est dans le collet (tel que nous l'avons défini) que commence la moelle. C'est aussi dans le collet que les faisceaux fibro-vasculaires descendent de la tige, s'unissent de diverses manières et subissent les modifications qui doivent déterminer pour la racine tel ou tel type rhizotaxique. Aussi le collet, en tant qu'organe intermédiaire, participe davantage tantôt de l'anatomie de la souche, tantôt de celle du premier entre-nœud de la tige, et quelquefois enfin il a des caractères anatomiques tout à fait spéciaux..... Sa longueur est variable, même dans la même famille, ainsi, dans les Légumineuses, les genres Phaseolus, Dolichos, Lupinus, ont un long collet; tandis qu'il est très court dans les Faba, Vicia Pisum, Medicago. »

Cette longue citation montre que Clos inaugure une façon nouvelle d'envisager la jonction des deux organes; le premier, il introduit l'anatomie dans la recherche du collet. M. Clos est le premier qui ait saisi la situation et les véritables caractères du collet.

M. Van Tieghem, tout en considérant d'abord le collet comme un plan géométrique, en précise davantage les caractères anatomiques : « Où s'opère le passage de l'alternance à la superposition et la demi-rotation simultanée du groupe vasculaire par laquelle de centripète il devient centrifuge, là finit la racine et commence la tige, là est la limite anatomique entre les deux parties de l'axe végétal; ce passage est brusque et par conséquent cette limite peut être déterminée dans tous les cas avec précision (1). » Un peu plus tard (2), il ajoute cet autre caractère « la cessation du tissu conjonctif spécial qui se trouve remplacé par le parenchyme primitif ».

En 1872, le même auteur, amené à suivre le développement

(1) Recherches sur la symétrie de structure des végétaux. Note de M. Ph. van Tieghem, *Comptes rendus*, 1869, t. LXVIII, p. 153.

(2) *Recherches sur la symétrie de structure des plantes vasculaires*, 1er fascicule. Introduction : la Racine, 1871, p. 10.

de l'embryon dans ses recherches sur la formation des canaux sécréteurs (1), décrit le passage de la tige à la racine dans quelques végétaux dicotylédones, et rejette l'idée de la superposition brusque de la tige à la racine. On peut, dit-il, compter quatre temps dans ce passage :

1° La rotation du f. vasculaire qui de centripète devient centrifuge; 2° sa superposition au f. libérien; 3° la brusque interruption de la membrane rhizogène en dehors de ce dernier; 4° la dilatation du cylindre central avec interposition du tissu conjonctif. La membrane protectrice se prolonge sans interruption sur toute l'étendue de l'axe. Dans la superposition des f. vasculaires aux f. libériens, tantôt les deux faisceaux se dédoublent et pour se lier ensemble font chacun la moitié du chemin; ailleurs, le f. vasculaire se divise seul et vient se placer en dedans du f. libérien demeuré immobile. Dans d'autres cas, le f. vasculaire reste en place en tournant sur lui-même, tandis que le libérien se dédouble et vient se placer au dehors. Les quatre temps dont nous avons parlé plus haut s'observent sur un espace fort court correspondant au collet extérieur (le changement d'épiderme) chez les Composées, Ricin, Liseron. Mais ailleurs les phases ne se montrent que successivement et sont séparées par d'assez longs intervalles. Alors la première seule coïncide avec la limite superficielle entre la tige et la racine, les autres s'opèrent plus ou moins haut sur la tigelle. Le passage est rendu ainsi moins saisissant. Les Ombellifères, Conifères, Balsamine offrent à cet égard trois modifications distinctes. Ces divers aspects proviennent de ce que l'accroissement intercalaire qui produit l'élongation de la tigelle de l'embryon se trouve localisé, suivant les cas, dans des régions un peu différentes de cette tigelle.

Ce travail est celui qui nous fournit les données les plus précises sur le collet, et nous montre les phénomènes succes-

(1) Mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes. *An. sc. nat. Botanique*, 5e série, t. XVI, p. 99 et 159. L'auteur décrit la structure de l'axe hypocotylé du *Tagetespatula*, et de celui des Ombellifères.

sifs qui ont pour terminaison la structure réalisée de la tige. Ses conclusions sont devenues classiques.

A la même époque. M. Dodel (1) étudie le passage de la tige à la racine dans le genre *Phaseolus* (*P. multiflorus*, *vulgaris*, *erectus* var. *nanus*). Il étudie les formations primaires et secondaires. Mal servi par le choix de sujets où les modifications et les formations secondaires se développent hâtivement et d'une façon très active, il n'a fait qu'effleurer le sujet principal s'égarant dans une foule de faits exacts, mais sans importance au point de vue où il devait se placer et particuliers au genre Phaseolus. Prenant dans ses conclusions ce qui nous intéresse, il signale : 1° la division des faisceaux radicaux en passant dans la tigelle ; 2° La torsion des faisceaux vasculaires radicaux qui de centripètes prennent d'abord une direction particulière, *tangentielle*, dit-il. Cette orientation existe réellement, nous le verrons, et se retrouve chez un très grand nombre de végétaux.

Mlle S. Goldsmith (2) confirme pour la marche des f. fibro-vasculaires dans l'axe hypocotylé des Dicotylédones les résultats de M. Van Tieghem, mais pour certains cas elle recule la limite du collet au delà des cotylédons (3) : « Le passage de la tige au pivot s'effectue chez les Dicotylédones (en ce qui concerne le développement et la direction des f. primordiaux) par une torsion anatomique s'opérant au-dessous des cotylédons. Chez les plantes où la tige ne renferme aucune moelle dans l'entre-nœud inférieur, le développement des faisceaux vasculaires primordiaux peut cependant être centripète-centrifuge (*Vicia sativa*) dans l'entre-nœud inférieur de la tige, et avoir ainsi un caractère intermédiaire entre la direction nettement centripète des faisceaux de la racine, nettement centrifuge des f. de la tige. » Enfin, elle croit qu'il n'y a aucun rapport entre la

(1) Der Uebergang des Dicotyledonen-Stengels in die Pfahl-Wurzel, *in Pringsheim* Jarhbücher, 8e volume, 1872.

(2) Beiträge zur Entwickelungsgeschite Fibrovasalmassen in Stengel und in der Hauptwurzel der Dicotyledonen. Zurich, 1876. *Thèse inaugurale.*

(3) *Récapitulation et conclusion*, p. 43, § 18.

grandeur, le mode de végétation des cotylédons, la grosseur de la tige hypocotylée et de la racine, la largeur du cylindre médullaire de la tige et du cône médullaire du sommet de la racine et la conduite des faisceaux vasculaires.

En 1877, M. Prillieux (1), faisant l'anatomie de l'embryon développé de la betterave, trouve la structure interne de la racine bien au delà du point où l'épiderme change de nature. Il en conclut qu'on doit admettre une zone de transition plus ou moins étendue, dans laquelle l'organisation peut participer à des degrés divers de celle qu'offre normalement soit la racine, soit la tige. Il partage complètement l'avis de Clos quant à la délimitation du collet.

J'ai fait connaître, il y a peu de temps, les premiers résultats de mes recherches sur le collet chez les Dicotylédones (2). Je montrais que le collet n'est pas un plan géométrique; il occupe une certaine longueur de l'axe hypocotylé. La structure de la racine se modifie peu à peu de façon à se rapprocher toujours davantage de celle de la tige. Ce passage se divise en plusieurs phases; la première peut apparaître bien au-dessous du changement d'épiderme. Ces phases se succèdent plus ou moins rapidement, elles peuvent ne pas se réaliser toutes; dans ce cas, l'axe hypocotylé ne présente en aucun de ses points la structure de la tige.

En résumé, les Dicotylédones seules ont été étudiées et encore en très petit nombre au point de vue spécial qui nous intéresse. Les résultats obtenus peuvent-ils être généralisés? Bien que M. Van Tieghem affirme dans un de ses ouvrages que les phénomènes sont les mêmes chez les Monocotylédones, rien n'a été publié sur cet embranchement. Les Cryptogames vasculaires n'ont jamais été mentionnées, à ma connaissance.

Il y a là une lacune, et c'est cette lacune que je me suis efforcé de remplir en entreprenant les recherches dont je publie les résultats.

(1) *Bulletin de la Société botanique de France*, 6 juillet, 1877.
(2) *Comptes rendus*, 31 mai 1880.

III

Quelle marche suivrons-nous?

Nous venons de voir qu'en dehors des caractères tirés du point végétatif et du mode d'accroissement les différences entre la tige et la racine résident dans la disposition des éléments primaires, les productions secondaires se développant parallèment et dans le même ordre dans les deux organes.

C'est donc aux formations primaires que nous devons nous adresser; nous devons en suivre les modifications entre les deux limites du collet : limite inférieure marquée par la première altération de la structure de la racine, limite supérieure où l'on rencontre pour la première fois la structure de la tige. Le problème comprend la recherche de ces deux points extrêmes et l'étude des transformations dont la région intermédiaire est le siège.

Les germinations fourniront les meilleurs sujets d'étude. Chez les Monocotylédones et les Cryptogames les formations secondaires n'apportent pas de modifications sensibles à la structure primitive, en outre les éléments primaires atteignant assez tard leur développement parfait, il y aura intérêt à laisser végéter quelque temps ces plantes avant de les étudier. Avec les Dicotylédons il faudra des précautions toutes spéciales. Les formations secondaires se produisent de très bonne heure avec une grande activité. Se développant au contact des formations primaires elles se confondent le plus souvent avec elles d'une façon si intime qu'il devient impossible de dire où commencent les unes, où finissent les autres; quelquefois même les formations secondaires viennent cacher complètement les formations primaires (racines de *Viola*, *Galium*, *Cœphelis Ipecacuanha*, etc.). Les formations secondaires constituent une difficulté sérieuse. Il faut les éviter; on y arrive en empêchant l'apparition du premier entre-nœud (il est très rare que cet organe ne présente dès sa base la structure de la tige). D'autre part, il ne faut pas gêner l'évolution totale de l'axe hypocotylé afin de respecter les relations de ses différentes

parties. On réalisera cette deuxième condition en arrêtant la végétation au moment où les Cotylédons redressés se sont complètement épanouis. En ce moment l'axe hypocotylé ne présente que des formations primaires, son élongation s'arrête, ses éléments ont pris leur position définitive. De plus, en agissant ainsi, nous opérons sur des sujets arrivés au même état de développement et par conséquent comparables.

Partant d'un point où la structure de la racine était bien nette, j'ai étudié l'axe au moyen de coupes transversales se rapprochant toujours davantage du point initial de la tige. J'ai procédé ainsi jusqu'à la naissance des Cotylédons dans la plupart des cas; au delà lorsque les faits l'exigeaient.

Les tissus des jeunes plantes sont si peu résistants qu'ils cèdent sous le rasoir si l'on n'a eu soin de les durcir par une immersion préalable dans l'alcool à 90 degrés. Les coupes doivent être très minces vu le faible diamètre des éléments du cylindre central. Leur maniement demande une délicatesse extrême (1).

Je diviserai ce travail en trois parties.

Dans la première : déterminant les points de départ et d'arrivée, je décrirai parallèlement avec tous les détails nécessaires les structures types de la racine et de la tige des Phanérogames à l'état primaire (2). Les points différentiels établis, profitant de ce qu'ils sont présents à la mémoire, j'exposerai immédiatement au point de vue général, l'histoire des états intermédiaires, ils se comprendront plus facilement. Dans la seconde partie, je répéterai les mêmes descriptions pour chacun des végétaux étudiés; nous verrons là les faits particuliers. Cette partie, un peu longue, consacrée surtout à l'exposition de faits qui pourront, je l'espère, être de quelque utilité soit pour la continuation, soit pour le contrôle de ces recherches, aurait pu être singulièrement diminuée si l'étude avait révélé

(1) On peut les observer facilement dans un mélange de quatre parties de glycérine, une d'acide acétique cristallisable, une d'eau distillée, après immersion de quelques minutes dans l'alcool, pour chasser les bulles d'air.

(2) Les Dicotylédones et les Monocotylédones peuvent être assimilées.

quelques types autour desquels j'eusse pu grouper le reste des végétaux. Malheureusement ces types n'existent pas, jamais deux végétaux ne se comportent entièrement de la même façon. Il ne peut y avoir d'assimilation totale; les rapprochements partiels sont seuls possibles, j'en ai profité autant que je l'ai pu faire.

J'ai placé les Dicotylédones dans l'ordre de de Candolle; les faits le permettaient, le nombre des sujets exigeait un ordre méthodique quelconque. Pour les Monocotylédones beaucoup moins nombreuses, j'ai procédé du simple au composé; la chose était nécessaire.

La troisième partie traite des Cryptogames vasculaires.

PREMIÈRE PARTIE

I. — La racine et la tige primaires des Phanérogames

Le point végétatif de la racine donne naissance de dehors en dedans à une pilorhize, à un épiderme, à un cylindre cortical et à un cylindre central. Ce dernier ne forme pas le quart de la masse totale.

La pilorhize ne nous intéresse pas ici, nous n'en dirons rien.

L'épiderme primitivement protégé par la pilorhize est formé de cellules étroites, allongées dans le sens du grand axe de la racine, demi-cylindriques ou presque arrondies, la convexité tournée vers l'extérieur. En raison de leur forme ces cellules sont faiblement réunies entre elles; sur la coupe transversale leur ensemble rappelle assez bien l'image d'un cercle de demi-disques. Leur paroi très mince en tous ses points n'est pas recouverte d'une lame cuticulaire. Généralement la plupart d'entre elles (quelquefois toutes), s'allongent dans leur partie médiane en un long poil non cuticularisé (poil radical). Certains végétaux n'en produisent point. On peut suivre sur un jeune pivot le développement de ces appendices. Nuls ou rudimentaires près du point végétatif, ils ne sont bien dévelop-

pés que dans le voisinage de la tigelle. Ces cellules pilifères forment alors une sorte de marteau dont le poil constitue le manche, le corps de la cellule la tête. La vie de cet épiderme est fort courte; la paroi de ses cellules se colore bientôt; ses éléments se séparent et tombent, ou s'aplatissent, s'accolent si bien aux cellules sous-jacentes qu'ils simulent à leur surface une fausse cuticule.

L'épiderme recouvre et limite extérieurement le cylindre cortical. Ce dernier, entièrement parenchymateux, se divise en une zone interne à croissance centripète et une zone externe à croissance centrifuge. Intérieurement il se termine et est limité fort nettement par une assise de cellules à caractères bien tranchés (endoderme, couche protectrice).

La zone interne est formée de cellules arrondies, à diamètre décroissant de l'extérieur vers l'intérieur. Ses éléments sont rangés en cercles concentriques et en files radiales, la diminution simultanée du diamètre du végétal et de celui des éléments se prête merveilleusement à cet arrangement. La zone externe, toujours moins développée que la précédente, peut dans le cas extrême ne compter qu'une seule rangée de cellules. La puissance de ses éléments décroît de l'intérieur vers l'extérieur. Arrondies intérieurement, ses cellules deviennent peu à peu polygonales en s'avançant vers l'extérieur; elles sont encore disposées en cercles concentriques, mais l'augmentation continue du diamètre correspondant à la diminution progressive des cellules rend impossible leur disposition en files radiales. Je m'éloigne ici de la description donnée par M. Van Tieghem (1); je vais plus loin encore.

La portion polyédrique de l'écorce externe moins développée que l'autre subit lentement, mais progressivement de dehors en dedans, une modification de la substance de ses parois qui, sans en altérer la forme ou l'épaisseur, rend ces cellules subéreuses. Elles deviennent le véritable organe protecteur de la jeune racine, l'assise pilifère (2) devant être regardée comme

(1) *Traité de botanique*, par J. Sachs. Trad. Van Tieghem, p. 199, note.
(2) Nouvelle appellation de l'épiderme de la racine, due à M. Ollivier. Re-

entièrement dévolue à la nutrition et destinée à l'absorption. L'altération et la mort de l'épiderme marchent parallèlement avec la subérification de l'assise sous-jacente.

Les cellules de cette assise diffèrent beaucoup des cellules plus internes : leur diamètre est plus considérable, leur forme est spéciale. Nettement polyédriques, allongées dans le sens radial et par là longuement unies entre elles, elles simulent (à la coloration près), les cellules de l'épiderme de la tige surtout lorsque l'assise pilifère aplatie et appliquée sur leur face externe forme une fausse cuticule. Partout où la radicelle est grêle, la rangée externe du cylindre cortical seule est polyédrique et se subérifie. Elle forme une membrane protectrice, qui, sans être de nature épidermique, joue le rôle d'épiderme. Je lui ai donné pour cette raison le nom de *membrane épidermoïdale* (1), étendant ainsi à tous les végétaux la dénomination précédemment créée par M. Chatin pour différencier le véritable organe protecteur de la racine aérienne des Orchidées. Chez les végétaux à racine volumineuse, la membrane épidermoïdale peut comprendre deux ou plusieurs rangées de cellules en voie de subérification. On peut alors suivre facilement de dehors en dedans les progrès de ce travail. Les Monocotylédones se prêtent fort bien à cette étude. On voit la coloration de la paroi se foncer peu à peu ; lorsque la transformation est achevée, sa teinte est noirâtre et rappelle celle des cellules de l'endoderme dans leur jeune âge et les rend aussi manifestes.

En résumé il y a lieu de décomposer la zone externe de M. Van Tieghem, de modifier la description de cet auteur, enfin de considérer un élément nouveau dans la structure de la jeune racine, organe protecteur se substituant à l'épiderme absorbant et en déterminant vraisemblablement la mort.

L'assise interne du cylindre cortical (endoderme, c. protectrice) composée de cellules de forme et de grandeur très varia-

cherches sur le système tégumentaire des racines. *Ann. sc. natur. Bot.*, 6e série. Tome I.

(1) *Comptes rendus*, 31 mai 1880.

bles, mais toujours polyédriques, naît par division des éléments de l'avant-dernière rangée qui restent parfois polygonaux ou demi-cylindriques à la suite de cette bipartition. Les parois radiales sinueuses de ces cellules se projettent en coupe transversale sous forme de nœud ou ponctuation noirâtre qui constitue un véritable stigmate pour ces cellules. Elles se subérisent très vite et prennent la coloration noirâtre qui les fait retrouver du premier abord.

Le cylindre central comprend l'assise rhizogène ou péricambium qui le limite extérieurement, les faisceaux vasculaires et libériens appuyés sur le péricambium, enfin le tissu conjonctif qui sépare les faisceaux.

L'assise rhizogène est formée de cellules toujours polyédriques mais diverses de forme et de grandeur. Elle ne présente généralement qu'une seule rangée d'éléments alternes avec ceux de l'endoderme ; elle peut cependant en posséder plusieurs (*Pinus*, *Castanea*, *Phaseolus*, etc.) ; les cellules des rangées voisines alternent toujours entre elles. Chez les Monocotylédones elle est simplement rhizogène, chez les Dicotylédones elle contribue en outre partiellement au développement du cambium, elle forme le cylindre cortical secondaire et le suber vrai.

Les faisceaux sont alternativement vasculaires (ligneux) et libériens toujours, par conséquent, en nombre pair mais variable dans d'étroites limites pour chaque espèce. On en trouve rarement plus de huit de chaque sorte ; on en observe plus souvent de deux à quatre.

Les f. vasculaires formés d'éléments de plus en plus larges en avançant vers le centre sont cunéiformes par cela même. Leur pointe tournée vers l'extérieur est constituée par des trachées, les vaisseaux les plus larges sont souvent ponctués. Chez les Dicotylédones tous les éléments sont cohérents entre eux ; chez les Monocotylédones il est fréquent de voir les plus larges s'isoler au milieu du tissu conjonctif. La racine acquiert alors un faciès d'autant plus particulier que ces vaisseaux ont un diamètre considérable. Le développement de ces faisceaux

est centripète et selon qu'il sera continu ou non les faisceaux se réuniront au centre ou y laisseront une moëlle.

Les f. libériens, bien qu'à formation centripète comme les f. vasculaires, s'avancent peu vers l'intérieur ; ils s'étalent le long de la couche rhizogène et comblent la plus grande partie de l'espace compris entre les f. vasculaires. Ils se différencient plus tard que les premiers et sont parfois difficiles à séparer du tissu conjonctif.

Le tissu conjonctif divisé en lames isole les faisceaux ; lorsque la racine possède une moelle ces lames forment un seul tout avec celle-ci. La, ou mieux, les rangées *les plus externes* de ce tissu donnent naissance, chez les Dicotylédones, à la plus grande partie du cambium, les cellules de la couche rhizogène *immédiatement opposées* aux f. vasculaires et *celles-là seules* forment le reste de ce tissu. Je précise, nous verrons plus tard pourquoi.

Telle est la structure de la racine primaire, examinons comparativement la tige primaire.

Elle présente un épiderme, un cylindre cortical et un cylindre central comme la racine, mais le cylindre central forme à lui seul près des deux tiers de la masse.

L'épiderme est composé de cellules en forme de parallélipipèdes, largement unies entre elles par leurs faces radiales ; elles sont recouvertes d'une lame cuticulaire percée çà et là par l'orifice des stomates. C'est le véritable organe protecteur de la jeune tige.

Le parenchyme cortical présente, comme dans la racine, les deux séries adossées de cellules décroissantes, mais la série externe est complètement formée de cellules arrondies. Il ne se forme plus de membrane épidermoïdale, il y aurait double emploi avec l'épiderme cuticularisé. L'assise interne (endoderme) a ses cellules arrondies, à parois longitudinales droites ; elle n'éprouve pas la subérification. Elle est cependant reconnaissable à la disposition particulière de ses éléments (opposés aux cellules plus externes du parenchyme cortical, alternes avec celles de la couche rhizogène) et à leur contenu formé

d'un amidon granuleux très réfringent, qui lui a fait donner parfois le nom d'assise amylifère.

La membrane rhizogène ne forme généralement plus une assise continue (1), elle manque en face des faisceaux libéro-ligneux qui s'appuient directement sur l'endoderme. Ses cellules sont plus ou moins arrondies, plutôt légèrement polygonales; elles diminuent toujours de diamètre dans le voisinage des faisceaux. Elles donneraient (2) naissance chez les Dicotylédones aux ponts cambiaux interfasciculaires.

Les faisceaux ligneux et libériens n'alternent plus, ils sont opposés radialement deux à deux. Les faisceaux libériens plus rapprochés de l'extérieur se différencient dans l'ordre centripète comme dans la racine; la formation des faisceaux ligneux est inverse, centrifuge. Leurs éléments sont les mêmes que dans la racine. Généralement le liber et le bois demi-cylindriques s'unissent par leur face plane, mais chez un grand nombre de Monocotylédones le dernier se contourne en croissant et enveloppe aux trois quarts les faisceaux libériens arrondis ou elliptiques. Les Dicotylédones ne présentent qu'une seule série de faisceaux; la tige de la plupart des Monocotylédones en montre plusieurs concentriques. Il y a là des différences importantes entre les deux embranchements. Il faut tenir compte de ces faits pour suivre le passage dans tous les cas, depuis les plus simples jusqu'aux plus compliqués. Au centre, et s'étendant entre les faisceaux, nous trouverons toujours un tissu conjonctif fort développé. La présence de ce tissu rend compte de l'ampleur caractéristique du cylindre central de la tige.

Le parallèle est achevé; les points différentiels nous sont parfaitement connus. Nous aurons à montrer : 1° le changement d'épiderme, et conséquemment je serai tenu de décrire

(1) Elle persiste parfois en tous les points; j'en donnerai des exemples (Ervumlens, fig. 45, etc.)

(2) Je ne crois pas qu'il en soit ainsi. J'ai suivi plusieurs fois la formation du cambium dans la tige et l'axe hypocotylé, le péricambium n'y jouait pas ce rôle. (Voy. fig. 38, 39, 43, 55, 56, 64.)

les modifications morphologiques que subit l'axe dans les régions qui avoisinent ce point. Cette étude nous permettra de juger ensuite s'il y a quelques relations entre les caractères extérieurs et les phénomènes internes; 2° la disparition de la membrane épidermoïdale; 3° la transformation de l'endoderme; 4° les transformations, la disparition en certains cas de la couche rhizogène; 5° les modifications que subit cette membrane dans son pouvoir générateur; 6° la formation des faisceaux libéro-ligneux; 7° le passage de la formation centripète du bois à la formation centrifuge; 8° l'apparition du tissu conjonctif central dans les végétaux dont la racine en est dépourvue; son augmentation dans les autres.

II. — Histoire du passage chez les Phanérogames (résultats généraux)

I. — *Caractères extérieurs de l'axe hypocotylé.* — La graine en germant donne naissance à une plantule dont la partie hypocotylée dans son plus grand état de complication ne comprend que deux parties : une inférieure terne recouverte par l'épiderme absorbant, c'est la radicule ou jeune pivot; la supérieure lisse, brillante, recouverte par un épiderme protecteur : la tigelle.

L'inférieure se développe toujours; la supérieure peut avoir des dimensions variables, elle peut manquer. Ce dernier cas, rare chez les Dicotylédones, est commun, au contraire, chez les Monocotylédones.

L'union de ces deux parties s'opère de différentes façons :

a. Le diamètre de la radicule s'accroît insensiblement pour atteindre celui de la tigelle; la radicule est longuement conique. C'est le mode de jonction le plus simple et le plus répandu.

b. La radicule reste étroite sur la plus grande partie de son parcours; elle prend dans les quelques millimètres supérieurs le diamètre de la tigelle (*Datura*, *Impatiens*).

Ces deux premières manières d'être correspondent généralement à des végétaux assez grêles.

c. Le troisième cas est, au contraire, fréquent dans les végétaux à plantule volumineuse (Haricot, Ricin, Melon). La radicule reste grêle (relativement) dans la plus grande partie de son parcours. Elle devient trois et quatre fois plus considérable dans sa partie supérieure. La tigelle est toujours fort développée transversalement.

d. Lorsque la tigelle manque, l'insertion des (ou du) cotylédons correspond toujours à un renflement terminal de la radicule.

II. — *Le collet.* — Les appellations de radicule et de tigelle laissent à supposer que le collet est plan et fixé à leur point de jonction. Il n'en est rien, *le collet est une région, plus ou moins étendue, dans laquelle l'axe présente des états transitoires entre les structures types de la racine et la tige. Le changement d'épiderme n'est qu'une des phases de ce passage.*

Pris dans ses limites les plus vastes, le collet débute dans la partie supérieure de la racine et ne se termine que dans le troisième et même le quatrième entre-nœud. Les cas où il dépasse les feuilles séminales sont rares (*Lathyrus*, *Ervum*, *Vicia*); le plus généralement il est compris dans les limites de la tigelle (*a*). Il prend origine dans la racine chaque fois que cet organe se renfle rapidement à son sommet (*b*, *c*). Lorsque la plantule est dépourvue de tigelle (*d*), le collet occupe la nodosité terminale et une étendue variable de la racine.

Il y a une certaine relation, non absolue pourtant, entre le volume de la plantule et la rapidité du passage. Si le diamètre du végétal est étroit, la structure de la tige peut ne s'observer qu'à la base du premier entre-nœud après le départ des cotylédons (fig. 14, 15 *Raphanus*, 28 *Impatiens glandilugera*); il y aura là un saut plus ou moins brusque : les éléments provenant directement de la racine pénétreront dans les feuilles séminales avant d'avoir passé par tous les intermédiaires nécessaires. Il est fréquent de rencontrer chez les plantules volumineuses (*c*) la structure de la tige dans une partie de la

tigelle (*Cucurbita*, Oranger, fig. 35, *Acer*, fig. 40, 41). Le collet peut même se localiser entièrement dans la partie supérieure de la radicule, le changement d'épiderme devient alors la dernière phase du passage (Ricin). Lorsque le végétal manque de tigelle, il est parfois si peu étendu qu'il doit être considéré alors à peu près comme plan (*canna*). Ce passage fort brusque n'a été observé que chez les Monocotylédones.

III. — *Le passage anatomique.* — Pendant le passage chaque élément a une conduite indépendante; les uns ont déjà terminé leurs transformations que les autres ne les ont pas commencées. Il n'y a aucune règle qui en régisse l'ordre : tel élément qui entamera ici la série, la terminera dans cet autre cas. De là une foule de combinaisons qui donnent à la région transitoire les aspects les plus variés. Le passage ne se fera jamais entièrement d'une façon identique chez deux végétaux donnés. Les moyens employés sont pourtant simples; ils ne sont très différents que dans le renversement des faisceaux vasculaires.

Prenons chaque élément en particulier :

Le système tégumentaire. L'épiderme villeux, à cellules demi-cylindriques en nombre double des cellules épidermoïdales, perd ses poils, acquiert une cuticule légère d'abord, puis de plus en plus accentuée; ses cellules s'aplatissent les unes contre les autres, s'unissent latéralement pour former une lame résistante; elles s'allongent tangentiellement, deviennent aussi grandes, si ce n'est plus, que les éléments sous-jacents; leur nombre doit proportionnellement diminuer de moitié. Ces faits sont généraux (*ep*, fig. 1, 2, 3, 62, 63). L'allongement radial est, au contraire, d'importance secondaire et propre à certaines espèces. Il en est de même de l'apparition plus ou moins hâtive des stomates et des glandes internes (*Citrus aurantium*, fig. 31, 32, 33) qui semblent manquer à la racine primaire.

Les transformations de la *membrane épidermoïdale* (*m e*, mêmes figures que précédemment) sont forcément liées à celles de l'épiderme; ses cellules perdent leur forme allongée,

s'arrondissent et diminuent de volume plus ou moins vite, mais leur subérisation s'arrêtant immédiatement avec l'apparition de la cuticule, elles changent très rapidement de coloration. On les voit, parfois, devenir presque aussitôt collenchymateuses.

Cylindre cortical. Le parenchyme cortical ne subit pas de modifications bien sensibles si ce n'est dans son diamètre ; sa puissance diminue proportionnellement peu à peu, mais le plus souvent avec une lenteur extrême. Il semble qu'il se résolve difficilement à perdre la puissance qu'il possède dans la racine. Tous les autres éléments ont pris la disposition qu'on leur connaît dans la tige que le rapport convenable des cylindres cortical et central est encore loin de s'établir. Il se réalise rarement dans l'axe hypocotylé. Il est bon d'ajouter cependant que le parenchyme cortical ne joue dans ce cas qu'un rôle tout passif, car l'agrandissement variable du cylindre central (et par conséquent l'étendue relative du parenchyme cortical) est entièrement dû à l'apparition plus ou moins hâtive et au développement plus ou moins considérable du tissu conjonctif central.

Le parenchyme cortical de la partie inférieure de la tigelle est sujet à la chute comme celui de la racine (fig. 64 *Castanea vesca*).

L'endoderme est certainement plus visible et tout aussi bien caractérisé à la base de la tigelle que dans la racine ; ses cellules noirâtres tranchent mieux sur les éléments plus réfringents de la tige. Elles arrondissent leurs angles, perdent leurs stigmates, se remplissent de grains d'amidon réfringent, enfin l'assise amylifère se constitue. Ces transformations sont lentes, successives et s'observent à des hauteurs variables selon les végétaux (*e*, fig. 1-10, 16, 17, 24-28, 35-39).

Cylindre central. — Il en est de même des modifications que subit la *membrane rhizogène*. Si l'on ne s'attache d'abord qu'à la forme et à la conservation de ses cellules on voit qu'elles se comportent de plusieurs façons différentes. Leur forme varie peu d'abord, elles restent longtemps polyédriques,

puis arrondissent leurs angles et deviennent sphériques. Quelquefois la membrane conserve toutes ses cellules (*p. Ervum lens*, fig. 42, 43, 44, 45; *Dipsacus*, fig. 46-50), mais celles qui font face aux faisceaux libériens diminuent sensiblement de volume. Le plus souvent elle en perd une partie. Cette disparition porte toujours sur les petites cellules opposées au liber; elle se produit avec une intensité variable avec les végétaux: tantôt les quelques cellules correspondant à la partie médiane de chaque masse libérienne manqueront seules; ailleurs toutes celles qui sont placées devant les faisceaux feront défaut (*p.* fig. 1-10, 21-25, 35-39).

Au point de vue générateur, le péricambium perd la propriété de donner naissance au cambium en face des f. vasculaires dès que ces faisceaux s'avançant dans la moelle l'ont quitté; le tissu conjonctif interposé hérite de ce rôle (C., fig. 56, 64, 55, 43, 39, 38, 17). La formation du suber et du parenchyme cortical secondaire à ses dépens ne s'éteint que peu à peu mais cesse complètement avant l'insertion des cotylédons (*p.* fig. 64). Ainsi s'explique la desquamation de la partie inférieure du parenchyme cortical de la tigelle.

L'endoderme et le péricambium modifiés sont entraînés par les faisceaux dans les cotylédons. Chez les Dicotylédones, le parenchyme cortical passe aussi complètement dans ces organes.

Le tissu conjonctif. — L'extension du tissu conjonctif domine toutes les modifications du cylindre central. En se développant en son milieu, il lui donnera le diamètre qu'il possède dans la tige; en s'insinuant au milieu des faisceaux il formera les rayons médullaires primaires; il comblera les vides laissés par les déplacements de ces faisceaux. Son rôle est tout passif, et si, dans le courant de ce travail, je lui ai plusieurs fois attribué un rôle actif, c'était au figuré entraîné par l'exposition. Sa présence est cependant de la plus absolue nécessité : la structure de la racine se conservera tant que le tissu conjonctif central n'augmentera pas d'importance.

Il apparaît en des points différents (1) : au centre pour con-

(1) Je prends le cas le plus compliqué : la racine dépourvue de moelle.

stituer la moelle ; à la périphérie pour combler le vide laissé par le report vers l'intérieur des f. vasculaires passant de l'orientation centripète à la disposition centrifuge (fig. 1, 4, 5, 7,8,9, 27-30). Pour que le passage soit complet, il faut qu'il apparaisse en ces deux points ; s'il ne se produit pas vers l'extérieur les faisceaux resteront centripètes (*Raphanus*, fig. 11-15, *Datura stramonium*, fig. 53-54), quand bien même la moelle prendrait naissance. L'axe hypocotylé ne présente alors la structure de la tige en aucun de ses points. Ces faits n'auront cependant aucune influence sur la disposition des éléments du premier entrenœud qui possédera toujours les éléments normaux de la tige même lorsque le collet s'étend au delà des cotylédons. La chose est paradoxale au premier abord, l'explication en est très simple, je la donnerai bientôt.

Le tissu conjonctif se fait jour en premier lieu tantôt au centre, tantôt vers l'extérieur et à des hauteurs diverses. Il peut prendre plus ou moins d'extension dans l'axe hypocotylé, je l'ai déjà fait remarquer. Les deux tissus peuvent rester isolés (*Nigella Damascena*, fig. 4-5-6, *Fumaria grandiflora* fig. 9) ou se réunir. Dans le second cas, un rayon médullaire prendra la place du f. vasculaire radical (*Acer campestre*, fig. 36-41).

Les faisceaux conducteurs. — Les f. conducteurs de l'axe hypocotylé forment des cordons continus. On ne trouve de raccordement qu'au point où le système conducteur du premier entrenœud se rattache aux faisceaux cotylédonaires lorsque le système radical passe entièrement dans les feuilles séminales.

Bois. — Les faisceaux vasculaires sont sans conteste les éléments qui présentent le plus de diversité dans le passage. Ce passage se divise en plusieurs temps qui se produisent dans l'ordre suivant :

1° Augmentation du nombre des éléments du faisceau (1) et égalisation de leur diamètre (fig. 1-4). Ce premier fait est surtout sensible chez les Monocotylédones, où le diamètre des

(1) Généralement, dans la proportion de 2 à 3.

vaisseaux internes dépasse considérablement dans la racine celui des trachées. Ces végétaux perdent ainsi leur facies radical spécial et leur assimilation aux Dicotylédones devient complète (*Triglochin palustre*, fig. 67, 68, *Impatiens glanduligera*, fig. 26-27).

2° Groupement sur plusieurs files des éléments primitivement unisériés plus bas; leur assemblage en une masse plus compacte (fig. 7-8) lorsque les éléments vasculaires de la racine sont rangés sur plusieurs files.

3° Segmentation longitudinale qui donne naissance à deux faisceaux parallèles centripètes (*fvnl*, fig. 23).

4° Superposition de ces faisceaux aux masses libériennes voisines et formation des f. libéro-ligneux (fig. 13 *fv*).

5° Passage du bois de l'orientation centripète à l'orientation sécantielle (fig. 4-5).

6° Passage de l'orientation sécantielle à l'orientation centrifuge (fig. 5-6, 9-10, 38-39) (1).

La seconde phase exige l'apparition de l'un ou l'autre tissu conjonctif. La troisième celle du tissu conjonctif interne. Après la quatrième celle du tissu conjonctif externe est obligatoire. Lorsque l'une ou l'autre de ces conditions n'est pas réalisée, le renversement des faisceaux vasculaires s'arrête; ils se présentent vers les cotylédons avec l'orientation centripète ou une disposition très légèrement inclinée (fig. 14-15, 24-25, 54).

La première phase ne demande point d'explications. La seconde, avons-nous dit, est liée à l'apparition d'un des tissus conjonctifs, les deux peuvent concourir à sa réalisation. Dans le premier cas les faisceaux sont repoussés soit vers l'intérieur (*fo*. fig. 42-43, 46-47), soit vers l'extérieur (fig. 8); leurs éléments sont forcés de s'étaler transversalement. Dans le second le résultat est le même, mais ils sont comprimés par les deux côtés à la fois.

(1) Il y a d'autres marches, mais elles constituent presque autant de cas particuliers; je renvoie à la description du passage chez les *Medicago, Ervum, Lathyrus, Phœnix*.

Dans le troisième temps le tissu conjonctif interne s'introduit au milieu du faisceau et le sépare longitudinalement en deux masses. La segmentation peut être totale ou partielle. Dans le premier cas un rayon médullaire prend la place du faisceau centripète de la racine (*Dipsacus*, fig. 46-48 ; *Acer*, fig. 36-38 ; *Althæa*, fig. 22) ; dans le second les trachées primitives sont respectées, le faisceau se divise en deux masses qui restent confondues par ces trachées (fig. 4) ou en trois masses : les trachées s'isolant des parties profondes (*tp*, fig. 13, 51, 52, 54, 61).

Dans le quatrième, les 1/2 faisceaux vasculaires s'éloignent latéralement l'un de l'autre et s'opposent aux faisceaux libériens voisins venus à leur rencontre. Si les trachées primitives n'ont point encore quitté la couche rhizogène ou en sont proches, la partie profonde se superpose seule à ces éléments. Les 1/2 faisceaux sont alors inclinés l'un sur l'autre formant un V (fig. 18, *for*).

Dans le cinquième les 1/2 faisceaux vasculaires s'opposent complètement au liber; de lamelleux ils deviennent le plus souvent cunéiformes ; le coin a sa base appuyée contre le liber, la pointe formée par les trachées primitives est interne. La direction du faisceau est perpendiculaire au rayon indiquant la position primitive du faisceau vasculaire radical : elle est *sécantielle* (fig. 5, 38, 52).

Les quatre dernières phases peuvent se produire presque simultanément. On passe ainsi directement de l'orientation centripète à l'orientation sécantielle (*Fumaria grandiflora*, fig. 8-9).

Rarement la sixième phase a lieu par le seul mouvement du bois. Dans ce cas cet élément tourne sur le liber comme sur un gond et se place dans le prolongement du rayon passant par son centre de figure. Il y a là un véritable mouvement de volet qui ne s'observe jamais que dans cette phase. Tous les autres mouvements des vaisseaux sont dus à des refoulements, des reculs, des concentrations, des chevauchements. Il faut un large espace, qui manque le plus souvent, pour que le mouve-

ment de volet se produise (Haricot). Mécaniquement parlant, il n'y a pas économie à ce qu'il se produise, il embrasse une trop grande étendue. Le plus souvent c'est un déplacement du faisceau libéro-ligneux tournant sur lui-même qui produit la nouvelle orientation (f. 19). Enfin elle peut encore résulter de la fusion de deux faisceaux libéro-ligneux voisins, c'est le moyen le plus rapide. Ces deux faisceaux peuvent emprunter leur bois à la même masse vasculaire radicale, dans ce cas la fusion est durable (fig. 6, 9-10), ou à deux masses vasculaires voisines, c'est alors le faisceau libérien intermédiaire qui se reconstitue (fig. 40-41, f v + f v'; 61, f v l). L'union est généralement peu durable dans la seconde alternative; plus tôt ou plus tard les faisceaux primitifs se reformeront.

Tous les faisceaux vasculaires d'un même végétal ne se comportent pas de même; les uns vont plus vite, les autres plus lentement. Si l'axe présente plus de deux faisceaux vasculaires, ceux d'entre eux qui constitueront les nervures médianes des cotylédons seront toujours manifestement en retard sur les autres. Les faisceaux peuvent ne subir qu'une partie des modifications avant de pénétrer dans les cotylédons. La tigelle ne présente alors, en aucun de ses points, la structure de la tige (*Impatiens*, fig. 28).

Cambium. — Chez les Dicotylédones, la superposition du bois au liber est toujours médiate. Elle se fait par l'intermédiaire d'une ou plusieurs rangées de tissu conjonctif qui deviennent plus tard cambiales. C'est le cambium intralibérien de la racine qui se continue (*c*, fig. 7, 8, 9, 10, 16, 17, etc). Le cambium de la tigelle se formant sur la plus grande partie de cet organe entièrement aux dépens du tissu conjonctif présente un caractère intermédiaire entre le tissu générateur de la racine où il se produit, partie aux dépens du péricambium, partie aux dépens du tissu conjonctif et de celui de la tige où il se développe, partie aux dépens du procambium, partie aux dépens du tissu conjonctif.

Liber. — Le bois primaire est toujours mieux et plus vite différencié, comparativement, dans la racine que dans la tige;

le contraire arrive pour le liber, sans doute en raison de la similitude de cet élément avec le procambium, similitude qui les fait confondre bien souvent.

Les faisceaux libériens se comportent beaucoup plus simplement que les faisceaux ligneux. Ils multiplient toujours, comme ceux-ci, leurs éléments d'une façon notable. Ils s'étendent le long de la couche rhizogène ; leurs extrémités se rapprochent du bois : la superposition se trouve facilitée. Il est de règle que dans cette superposition les deux éléments fassent chacun la moitié du chemin. Il peut arriver que l'un ou l'autre le fasse complètement : le bois, lorsque les faisceaux nombreux et serrés ne permettent pas le mouvement du liber. Le déplacement du liber seul est plus rare; les *Medicago*, *Lathyrus*, *Ervum*, Dattier, déjà intéressants par la conduite anormale de leur bois, et justement pour cette raison, en présentent des exemples.

Dans le cas le plus général (1) les faisceaux libériens se coupent radialement en trois parties (2). Les faisceaux extrêmes recevront chacun un 1/2 faisceau vasculaire et l'axe hypocotylé présentera typiquement un nombre de faisceaux libéro-ligneux double de celui des faisceaux vasculaires de la racine. La partie médiane passe dans le premier entrenœud ; elle se transforme en procambium et donne déjà naissance dans la tigelle à du bois centrifuge (fig. 14, 17). C'est ainsi que les faisceaux libéro-ligneux du premier entre-nœud ont toujours les caractères des faisceaux de la tige. Parfois le faisceau libérien ne se divise primitivement qu'en deux masses. Une nouvelle division dans le voisinage des cotylédons donne alors naissance à deux faisceaux médians, qui tantôt restent isolés, tantôt se réunissent. Ces faisceaux sont procambiaux, ils passent dans le premier entrenœud et se comportent comme les précédents.

(1) La racine présentant le type binaire.

(2) Séparées par deux rayons médullaires qui sont bien plus constants que les rayons qui se produisent au milieu des f. vasculaires. Le plus souvent on ne parle que de ces derniers.

Si l'axe contient un grand nombre de faisceaux, dont une partie seulement se rend aux cotylédons et l'autre au premier entrenœud, les faisceaux libériens peuvent rester indemnes ; les masses vasculaires opposées se confondent.

Dans le cas le plus compliqué, chaque masse libérienne se divise en cinq faisceaux : la racine présente le type binaire et les cotylédons ont des nervures latérales (fig. 15, *Raphanus*). Le liber se divise une seconde fois pour fournir à la formation de ces dernières ; il entraîne avec lui le bois opposé.

Je crois avoir ainsi passé en revue tous les éléments de l'axe, mais je ne terminerai pas sans avoir ajouté quelques remarques d'intérêt général qui n'ont pu trouver place dans l'exposition précédente.

Si nous prenons les faisceaux vasculaires au point de vue de leur marche, nous verrons qu'ils se comportent très différemment. Si la racine en présente un nombre impair il est de règle qu'une partie passe au delà des cotylédons. Si le type est pair et réduit à deux, les faisceaux passeront entièrement dans les cotylédons; il y a de rares exceptions (*Dipsacus laciniatus ft*, fig. 46-50) où leur partie médiane passe dans le premier entre-nœud après s'être opposée à la région moyenne du liber et avoir ensuite échangé ses vaisseaux ponctués pour des trachées. Quand le type est plus élevé les cas sont très variés; tantôt les faisceaux se rendent tous aux cotylédons; tantôt une partie seulement y pénètre : il y en a même des exemples pour le type quatre (*Tropæolum majus*, fig. 29-30). Enfin un même faisceau peut se rendre partie dans les cotylédons, partie dans le premier entre-nœud et y avoir une existence complètement indépendante du liber (*Ervum lens*, fig. 42-45, *rr*).

Non seulement les anastomes des faisceaux libéro-ligneux altèrent la structure type de la tigelle en diminuant le nombre des faisceaux, mais elles font aussi disparaître une partie des rayons médullaires. Ceux qui resteront correspondront, tantôt au milieu des faisceaux libériens, tantôt à l'ancien emplacement des faisceaux vasculaires de la racine. Il n'est donc pas juste de dire et de donner comme caractéristique de la tigelle la

présence d'un rayon médullaire à la place d'un des faisceaux vasculaires de la racine. Il s'en forme parfois, mais il y a des exemples où ils n'apparaissent jamais.

Les faisceaux du premier entre-nœud qui demeuraient sur le même rang que les faisceaux cotylédonaires chez les Dicotylédones, se rapprochent du centre chez beaucoup de Monocotylédones. Chez ces végétaux où les entrenœuds sont courts, on voit naître par division au sommet de la tigelle les systèmes conducteurs de plusieurs feuilles. Ils se disposent de plus en plus intérieurement selon l'ordre d'apparition de l'appendice auquel ils sont destinés. Il y a là, me paraît-il, toute l'explication de la structure de la tige des Monocotylédones et de la marche sinueuse de ses faisceaux libéro-ligneux. Au fur et à mesure que la libération des appendices plus âgés s'opérera, les séries plus jeunes se rapprocheront de l'extérieur; elles y parviendront lorsque les organes auxquels elles sont destinées sortiront. Parties de la périphérie, elles y reviendront après avoir passé par le centre. La courbe sera plus ou moins accentuée selon la longueur des entre-nœuds. La divergence des feuilles mère et fille rendra la courbe aplanatique.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DÉTAILLÉE DU PASSAGE CHEZ LES PHANÉROGAMES

1° *Dicotylédones.*

Renonculacées. — *Nigella Damascena* (pl. 15, fig. 1-6). La petite graine du *Nigella Damascena* donne naissance à une plantule assez allongée mais de diamètre étroit. Elle se divise en deux portions bien nettes : l'inférieure grisâtre, longue de 4 centimètres, recouverte par l'assise pilifère, la supérieure lisse et brillante mesurant 6 centimètres. La limite des deux épidermes n'est pas indiquée par un accroissement brusque du rayon de l'axe; il marque le point maximum de ce rayon, en-dessus et en dessous il décroît, d'une façon insensible en gagnant vers les cotylédons, assez rapidement

vers le bas pour que la racine possède un diamètre fort étroit sur la plus grande partie de son parcours.

La racine de structure très normale présente le type binaire (fig. 1). L'assise pilifère *ep* est formée de petites cellules déjà en voie d'altération au sommet de la racine; elle recouvre la *membrane épidermoïdale* composée de cellules hexagonales beaucoup plus développées. Le parenchyme cortical (*p c*) proprement dit est entièrement composé de cellules arrondies disposées sur six cercles concentriques. La couche protectrice présente très nettement ses stigmates et sa coloration caractéristiques. Les cellules du péricambium disposées sur un seul cercle dépassent en certains points le volume des cellules de l'endoderme. Les faisceaux vasculaires sont formés d'une dizaine de petites trachées disposées sur deux rangs. Les deux faisceaux isolés laissent une moelle au centre. Les faisceaux libériens comprenant un même nombre d'éléments sont largement séparés des faisceaux vasculaires par le tissu conjonctif. Le cylindre central est légèrement elliptique (1).

Le système tégumentaire et le cylindre cortical (moins l'endoderme qui bien qu'appartenant au cylindre cortical suit toujours les évolutions du cylindre central et non celles de son générateur) achèvent leurs transformations peu au-dessus de la partie villeuse. Le cylindre central conserve la structure de cette partie de la racine jusque dans le voisinage des cotylédons; ses éléments prennent alors en très peu de temps la disposition caractéristique de la tige; celle-ci ne se réalise pourtant pas entièrement avant la séparation des cotylédons. Les faisceaux conservent dans l'axe hypocotylé une orientation spéciale. La tige n'apparaît véritablement qu'à la base du premier entre-nœud. Le collet comprend chez le *Nigella Damascena* toute la partie lisse de l'axe hypocotylé.

(1) Je décrirai les phénomènes de passage chez ce végétal avec un détail que je ne pourrai mettre à la description de tous les végétaux étudiés. Je me contenterai de mettre ensuite en relief les faits nouveaux que nous rencontrerons. J'éviterai ainsi les redites, et abrégerai un travail qui deviendrait trop long et perdrait de son intérêt.

La première modification porte sur l'épiderme. Sans que la forme et la coloration des cellules changent tout d'abord, les poils radicaux deviennent plus rares puis font défaut, une cuticule très légère apparaît à leur surface ; les cellules s'agrandissent peu à peu et perdent leur coloration brunâtre. Leur diamètre égale bientôt et parfois dépasse (fig. 2-3) celui des cellules sous-jacentes ; elles prennent la forme polyédrique, se soudent largement entre elles et une cuticule résistante les protège. La membrane épidermoïdale perd ses caractères dans le même temps. Ses cellules hexagonales plus bas deviennent octogonales, enfin s'arrondissent.

Ce n'est qu'à 3 millimètres des cotylédons que commencent les transformations sérieuses du cylindre central. Jusque-là le tissu conjonctif central s'est légèrement agrandi ; les faisceaux libériens ont augmenté le nombre de leurs éléments et se sont étalés le long de la couche rhizogène s'avançant vers les faisceaux vasculaires pour faciliter la formation des faisceaux libéro-ligneux. A partir de ce point les phénomènes s'accélèrent. La membrane protectrice arrondit légèrement ses cellules ; ses stigmates deviennent moins visibles. Lorsque l'axe se sépare en deux masses pour former les cotylédons elle accompagne le parenchyme cortical qui lui est opposé et continue à protéger les faisceaux du pétiole.

Les cellules du péricambium restant bien caractérisées en face des faisceaux vasculaires et des cellules du tissu conjonctif qui remplacent ceux-ci dans la partie terminale de l'axe hypocotylé, diminuent d'abord de volume en face des faisceaux libériens, puis se dissocient par pénétration des éléments de ces faisceaux, et en certains points se confondent si bien avec eux que le liber à la base du pétiole repose sur la couche protectrice.

Le tissu conjonctif central pénètre au milieu des éléments des faisceaux vasculaires. Ceux-ci prennent l'aspect d'un V dont la pointe tournée vers l'extérieur est formée par la trachée primitive. A la suite de cet écartement, les vaisseaux les plus larges, formés en dernier lieu, viennent s'appuyer contre les

extrémités des faisceaux libériens. La trachée primitive est ensuite repoussée vers l'intérieur par interposition de tissu conjonctif entre cette trachée et le péricambium (fig. 4). Repoussée de plus en plus profondément par la multiplication de ce tissu la trachée primitive entraîne les éléments vasculaires voisins et bientôt les deux branches du V se trouvent sur le prolongement l'une de l'autre (fig. 5). Comme conséquence apparaissent deux faisceaux libéro-ligneux opposés, confondus par leur extrémité interne, formant une sécante au cylindre central. Ils ont les caractères des faisceaux de la tige sans en avoir l'orientation.

Cette disposition des faisceaux est dite tangentielle par M. Dodel; je substituerai à cette appellation celle de *sécantielle* qui rend compte beaucoup plus exactement de la position des faisceaux et sans laisser de doute.

Lors de la séparation des faisceaux libéro-ligneux qui s'infléchissent dans les cotylédons, les masses vasculaires opposées tournent sur les trachées médianes communes afin de se rapprocher et de se confondre (fig. 6). A la base du pétiole la fusion est faite et l'on ne trouve plus qu'une seule masse vasculaire centrifuge à la place de chaque faisceau centripète de la racine. Les masses libériennes opposées entraînées dans le mouvement ne se confondent point; elles demeurent séparées par les cellules rhizogènes et les cellules conjonctives qui ont repoussé la trachée primitive.

Simultanément les faisceaux libériens se divisaient en trois masses égales. Nous avons déjà suivi jusque dans les cotylédons les deux latérales qui se superposent aux demi-faisceaux vasculaires de la racine; la partie médiane, plutôt procambiale que libérienne, donne naissance à sa face interne, dans l'ordre centrifuge, à de petites trachées. Les faisceaux libéro-ligneux ainsi constitués ont dès leur naissance tous les caractères des faisceaux de la tige. Ils se divisent bientôt en trois masses, deux petites latérales qui deviennent les nervures latérales des cotylédons, la médiane plus volumineuse passe dans le premier entre-nœud. La moelle s'agrandit par la dilatation du

cylindre central, par le rejet du liber vers la couche rhizogène, enfin par sa pénétration au milieu des faisceaux pour donner naissance aux rayons médullaires. Les faisceaux vasculaires provenant du même groupe vasculaire radical restant connivents, il ne se forme pas de rayon médullaire proprement dit au milieu des faisceaux vasculaires radicaux.

Papavéracées. — *Argemone grandiflora*. Le végétal étudié mesure 6 centimètres à la naissance des cotylédons. Le changement d'épiderme s'opère à 4 centimètres au-dessous de ce point et ne correspond nullement à un renflement de l'axe. La racine est normale. Les cellules arrondies de l'épiderme sont trois fois plus petites que celles de la membrane épidermoïdale. Les cellules du parenchyme cortical sont toutes arrondies. La membrane rhizogène simple en face des faisceaux libériens est double entre eux. Les faisceaux ligneux au nombre de deux sont réunis au centre et composés de trois ou quatre trachées rangées sur une seule file. Les faisceaux libériens ne sont séparés des faisceaux vasculaires que par une rangée de cellules conjonctives déjà en voie de segmentation vers la base de la racine. Le cylindre cortical se comporte de la même façon que celui du *Nigella Damascena*. Le cylindre central présente la structure de la racine jusqu'à l'insertion des cotylédons.

La moelle apparaît à 1 centimètre et demi au-dessus du changement d'épiderme, disparaît puis reparaît un centimètre plus haut; elle n'est, du reste, représentée jusqu'à la naissance des cotylédons (1 millimètre au-dessous) que par une seule cellule qui divise inégalement la lame vasculaire. Les cellules de l'endoderme tendent à s'arrondir dans la partie supérieure de la tigelle, elles restent cependant fort visibles sur toute la longueur de l'axe hypocotylé. La membrane rhizogène conserve ses caractères jusque dans les cotylédons; elle ne disparaît pas en face des faisceaux libériens. Les faisceaux conducteurs ne subissent de modifications capitales qu'au sommet de la tigelle (dans le dernier millimètre). Les faisceaux libériens s'étalent le long du péricambium et se rapprochent ainsi

des extrémités de la lame vasculaire, puis se divisent en trois masses par pénétration du tissu conjonctif entre leurs éléments. La partie médiane procambiale passe entièrement dans le premier entre-nœud et y forme des faisceaux libéro-ligneux radiaux ayant les caractères de ceux de la tige; les parties latérales vont s'opposer aux demi-faisceaux vasculaires voisins et passer dans les cotylédons.

Les faisceaux vasculaires conservent dans la tigelle leur orientation centripète, mais ils se modifient en augmentant le nombre de leurs éléments aux dépens, il est vrai, de leur diamètre, de telle façon qu'ils restent unisériés. Dans leur marche oblique pour se rendre aux cotylédons, ils se ramassent d'abord sur eux-mêmes pour former un cordon massif, puis la moelle s'agrandissant tout à coup pénètre au milieu d'eux, et les divise longitudinalement en deux parties réunies en V par les trachées primitives. Ce mouvement amène la juxtaposition des éléments ligneux et libériens, et à la base du pétiole, le liber ayant marché plus rapidement que le bois, nous trouvons deux faisceaux libéro-ligneux réunis par leur portion interne et nettement orientés selon la sécante. Nous avons rencontré cette orientation chez la Nigelle, un peu plus bas, au sommet de la tigelle. Les phénomènes de transition sont moins actifs chez l'*Argemone* que chez la *Nigella*. Dans ces deux exemples les faisceaux conducteurs de la racine passent entièrement dans les cotylédons.

Ce végétal nous présente d'une façon évidente : 1° la multiplication du nombre des éléments des faisceaux vasculaires sur le parcours de la tigelle ; 2° le groupement nouveau de ces éléments qui rend plurisérié le faisceau unisérié plus bas, groupement qui permet la pénétration de la moelle au milieu du faisceau et sa segmentation en deux masses symétriques et consistantes. Ces deux faits sont capitaux; ils se reproduisent d'une façon constante au moment où les faisceaux vasculaires vont changer d'orientation : ils en sont les précurseurs.

Le cylindre central reste fort étroit sur le parcours entier de

la tigelle, il est à peine besoin de le dire après avoir montré l'état rudimentaire de la moelle dans cet organe.

Fumariacées. — *Fumaria grandiflora* (fig. 7-10, pl. 15). Bien que ce végétal nous présente encore le cylindre central de la racine peu modifié sur toute la longueur de la tigelle, nous trouverons cependant à la base des cotylédons la fusion des deux faisceaux libéro-ligneux provenant du même groupe vasculaire et la formation d'un faisceau ayant entièrement les caractères de ceux de la tige (fig. 10), disposition que nous n'avons pas vue dans les exemples précédents. Nous verrons aussi la superposition des faisceaux ligneux et libériens s'opérer par un mode que nous ne connaissons pas encore. La division des faisceaux vasculaires en V n'a pas lieu.

La plantule est grêle, elle mesure $0^m,05$. La racine très longuement conique, presque cylindrique, a une longueur de $0^m,03$. Elle présente le type binaire et porte de nombreuses radicelles disposées sur deux lignes opposées. La tigelle se termine par des cotylédons lancéolés.

La structure de la racine est normale. Son épiderme est formé de petites cellules demi-cylindriques, trois fois plus petites que les cellules de la membrane épidermoïdale dont les cellules polyédriques et subérifiées vers leur face externe sont encore formées de cellulose à leur face interne. Le cylindre cortical comprend cinq rangs de cellules arrondies. Les membranes protectrice et rhizogène sont bien caractérisées (fig. 7). Chaque faisceau vasculaire comprend une dizaine d'éléments disposés sur deux rangs parallèles; ils se réunissent au centre. Les faisceaux libériens sont séparés des précédents par une à trois rangées de cellules conjonctives.

La membrane épidermoïdale disparaît avec l'apparition de la cuticule. Les cellules de l'épiderme se modifient peu à peu sur le trajet entier de la tigelle. Au sommet de cet organe, il est formé de cellules allongées radialement aussi développées que les cellules sous-jacentes. L'endoderme arrondit peu à peu ses cellules, perd ses stigmates, et dans la partie supérieure de la tigelle, où vont se passer les phénomènes les plus

importants, il ne sera plus reconnaissable qu'à la présence dans ses cellules des grains d'amidon réfringents qui lui ont fait donner le nom d'assise amylifère.

La moelle apparaît $0^{m},005$ après le changement d'épiderme; elle n'est représentée que par trois ou quatre cellules jusqu'à $0^{m},005$ des cotylédons, point où elle s'élargit très rapidement (fig. 8). Les faisceaux libériens se coupent en deux parties; un peu après l'apparition de la moelle, ces parties se rendent entièrement aux cotylédons. Elles se réunissent cependant de nouveau pendant quelque temps dans la partie supérieure de la tigelle par l'intermédiaire du procambium générateur des faisceaux conducteurs du premier entre-nœud se mettant en relation avec la racine.

Aussi longtemps que les faisceaux vasculaires restent appuyés contre le péricambium la génération du cambium est dans l'axe hypocotylé celle du cambium de la racine. Le *Fumaria* nous en montre un exemple; mais la formation hâtive du cambium dans ce végétal met en lumière un autre fait moins évident chez le *Nigella* et l'*Argemone*. La superposition du bois au liber n'est jamais immédiate dans l'axe hypocotylé; le tissu cambial intralibérien de la racine restera toujours interposé entre les deux éléments. Ce fait, que je signale pour la première fois, est général; il est facile à observer dans tous les cas où les éléments n'étant pas trop exigus, les phénomènes de superposition se passent dans l'intérieur même de la tigelle et non dans le trajet des faisceaux pour les cotylédons; que le tissu conjonctif soit en voie de segmentation, comme c'est le cas ici, ou non (*c*, fig. 8-9).

Après l'apparition de la moelle, les faisceaux vasculaires sont repoussés vers la membrane rhizogène et groupent leurs éléments en masses cunéiformes centripètes. Le nombre des vaisseaux qui composent ces coins reste à peu près constant jusqu'à $0^{mm},005$ des cotylédons; là il augmente rapidement, mais les vaisseaux les plus intérieurs diminuent de diamètre et le faisceau devient plus homogène. La moelle, en s'agrandissant, comprime la face interne des faisceaux vasculaires;

ceux-ci s'élargissent toujours davantage; ils finissent par rencontrer les extrémités des faisceaux libériens et s'y opposent par leurs parties profondes. Des cellules conjonctives apparaissent ensuite entre les trachées primitives et la couche rhizogène; en se multipliant (il y en a bientôt trois rangs) elles repoussent les faisceaux vers l'intérieur. Comprimés sur leurs deux faces, les faisceaux s'écrasent et chacun prend une disposition en lame, lame dont la direction est perpendiculaire à celle du faisceau vasculaire de la racine (fig. 9). Les trachées primitives, occupent le centre de cette lame dont les extrémités s'appuient sur les faisceaux libériens voisins. Il y a là en réalité deux faisceaux libéro-ligneux orientés selon la sécante et confondus par leurs trachées. Aussitôt après leur formation ces faisceaux tournent sur leur partie profonde afin de se réunir. La fusion débute par le bois; lorsque les cotylédons s'isolent, les deux masses libériennes sont presque entièrement confondues (fig. 10).

Le péricambium se retrouve facilement jusqu'au point où la formation des faisceaux libéro-ligneux se trouve être un fait accompli. Au delà ses cellules diminuent de volume très rapidement en face du liber; elles finissent par se confondre avec lui et disparaissent même tout à fait. En face des rayons parenchymateux ses cellules s'arrondissent; elles conservent leur diamètre primitif, si même elles ne l'augmentent point.

Crucifères. — *Raphanus niger* (fig. 11-15, pl. 15). L'embryon développé du *R. niger* mesure environ 0m,03. La tigelle en prend 0m,016 pour sa part.

La racine longuement conique donne insertion à la tigelle sans se renfler à son extrémité supérieure; elle porte deux séries opposées de radicelles. Sa structure est normale; elle présente les particularités suivantes : la rangée de cellules sous-jacente à la membrane épidermoïdale est la seule du parenchyme cortical qui soit polyédrique; le péricambium simple est formé par un nombre de cellules double de celui des éléments de l'endoderme; les deux faisceaux vasculaires sont réunis au centre, la lame qu'ils forment ne comprend

qu'une seule série de vaisseaux. Les cellules libériennes aussi larges que celles du tissu conjonctif, très puissant dans cet échantillon, s'en distinguent mal (fig. 11). Le cambium intralibérien apparaît de bonne heure et se développe aux dépens des trois rangées externes du tissu conjonctif.

Le passage est localisé dans la tigelle, mais la structure de la tige ne s'observe qu'à la base du premier entre-nœud.

L'épiderme, la membrane épidermoïdale, le cylindre cortical se comportent comme dans les cas précédents. Les cellules épidermoïdales restent cependant légèrement polyédriques, elles diminuent sensiblement de volume; les cellules épidermiques, au contraire, ne cessent de s'accroître.

Le cylindre central de la racine se continue jusqu'au milieu de la tigelle. Dans la moitié supérieure de cet organe ses éléments sont en voie de déplacement continuel; cependant le renversement des faisceaux ligneux se produit ici encore moins activement que chez l'*Argemone grandiflora*. A leur pénétration dans les cotylédons leur direction est encore centripète, les vaisseaux disposés en V, c'est-à-dire dans une des premières phases du passage.

L'endoderme tend à agrandir et arrondir ses cellules dès le milieu de la tigelle, il perd alors complètement ses stigmates. La membrane rhizogène reste intacte jusqu'à la base des cotylédons. Lorsqu'elle doit disparaître, elle ne le fait ordinairement qu'après la formation des faisceaux libéroligneux radiaux caractéristiques de la tige. Cette condition, avons-nous dit, ne se réalise pas dans l'axe hypocotylé du *R. niger*.

Les faisceaux libériens se séparent en deux masses vers le milieu de la tigelle (fig. 13), chaque partie se rapproche des faisceaux vasculaires. Deux à trois millimètres avant la naissance des cotylédons, les deux fragments s'étalant latéralement se rapprochent et s'unissent de nouveau mais pour très peu de temps, car avant la séparation des feuilles séminales ce large faisceau se coupe d'abord en trois parties (fig. 14), puis, par une nouvelle scission, donne naissance à deux faisceaux

intermédiaires. Sur ces cinq masses (fig. 15), la médiane passe dans le premier entre-nœud après avoir acquis à sa face interne quelques trachées à développement centrifuge, les autres se rendent dans les cotylédons.

La moelle apparaît seulement dans la seconde moitié de la tigelle, elle ne cesse de s'accroître jusqu'à l'insertion des cotylédons.

Les faisceaux vasculaires vont se comporter d'une façon nouvelle. Ces faisceaux vasculaires des *Nigella* et des *Fumaria* avaient déjà suivi des marches différentes. Ils ne sont ici que très faiblement repoussés vers l'extérieur lors de l'apparition de la moelle, leur division se fait par un mode spécial : ils se séparent en trois masses. Vers la moitié de la tigelle, le tissu conjonctif s'introduit latéralement entre les éléments de la lame vasculaire dont le nombre s'est augmenté en même temps que le diamètre des plus larges diminuait, il les disjoint et chassant les uns à droite les autres à gauche (fig. 12), il les adosse au tissu cambial opposé au liber voisin. La pénétration du tissu conjonctif s'arrête devant les trachées primitives qui, rassemblées en un petit faisceau, demeurent accolées à la membrane rhizogène. Elles se séparent même du reste de la masse générale qui se trouve ainsi divisée en trois fragments (fig. 13 *tp*). Ce fait a déjà été signalé par M. Van Tieghem dans le *Tagetes patula* : dans ce végétal la trachée la plus étroite se sépare seule du faisceau ; la scission porte ici sur quatre ou cinq vaisseaux. Les masses vasculaires opposées au liber suivent ensuite tous les mouvements de cet élément. A la base des cotylédons nous trouverons, outre nos deux faisceaux trachéens, dix faisceaux libéro-ligneux. Parmi ceux-ci (fig. 15), les médians se rendent dans le premier entre-nœud ; leurs voisins vont former les nervures latérales des cotylédons ; les latéraux d'un même côté s'unissent pour en former la nervure médiane. Cette jonction s'effectue (fig. 14) à l'extrémité de la tigelle et se fait par l'intermédiaire des faisceaux trachéens qui quittent enfin la couche rhizogène et font la moitié du chemin, le reste étant fait par le rapproche-

ment des faisceaux libéro-ligneux. Les éléments vasculaires présentent alors le même groupement en V que j'ai représenté chez le *Nigella Damascena* dans la figure 4. Le renversement total des faisceaux vasculaires ne s'achève que dans la pétiole.

En résumé, nous voyons chez le *Raphanus niger* : 1° le bois conserver l'orientation centripète sur toute la longueur de la tigelle ; 2° la séparation des trachées primitives du corps principal du faisceau ; 3° la formation des nervures latérales des cotylédons dans la tigelle. Il nous montre aussi la nécessité du refoulement des trachées vers l'intérieur par interposition du tissu conjonctif entre ces trachées et le péricambium, refoulement qui peut seul amener la superposition de la portion externe du faisceau vasculaire au faisceau libérien, le développement de la moelle amenant la juxtaposition des parties internes. Plus vite il s'opérera, plus vite se réalisera la structure de la tige. Ici rien de tel, le bois conserve l'orientation centripète.

Résédacées. — *Reseda alba*. Les phénomènes de passage se produisent chez ce végétal à peu de chose près comme chez l'*Argemone grandiflora*. La structure de la tige ne s'observe en aucun point de l'axe hypocotylé. A la base du pétiole, les faisceaux libéro-ligneux sont orientés selon la sécante.

Le diamètre de la plantule est très étroit. Le pivot ne mesure que 4 millimètres ; la tigelle 20. Les cotylédons sont très petits.

La radicule extrêmement grêle a la structure normale d'une racine binaire. Les cellules de l'épiderme absorbant encore en très bon état recouvrent une membrane épidermoïdale non subérifiée et conséquemment peu caractérisée. L'endoderme est mieux caractérisé dans la partie inférieure de la tigelle que dans la racine. Le diamètre des cellules péricambiales, très développé en face des faisceaux vasculaires, décroît peu à peu en avançant vers le milieu des faisceaux libériens. Les faisceaux vasculaires réduits à trois trachées étroites disposées en une seule série ne se réunissent pas au centre. Les faisceaux libériens sont également peu développés.

Avec le changement d'épiderme le diamètre du végétal augmente, mais dans des proportions assez faibles; le cylindre central de la racine s'étend avec toute sa pureté jusqu'à 3 millimètres des cotylédons.

L'épiderme se modifie lentement. Ce n'est que dans le voisinage des cotylédons qu'il est formé de cellules aplaties fortement cuticularisées. Entre la base de la racine et le point où commencent les phénomènes de passage, les seules modifications à signaler portent sur l'apparition de nouveaux vaisseaux à la face profonde des faisceaux vasculaires. Ceux-ci atteignent le centre, s'unissent et causent la disparition de la moelle. Les faits suivants se passent tous dans les 3 millimètres supérieurs de la tigelle. L'endoderme perd ses stigmates, arrondit ses cellules et se confond avec les éléments plus externes du cylindre cortical. Les cellules du péricambium opposées au liber disparaissent peu à peu; leur disparition totale ne s'observe cependant que dans les cotylédons.

Les faisceaux libériens se divisent chacun en cinq masses, comme ceux des *Nigella* et *Raphanus*. Les faisceaux vasculaires se développent davantage (la lame vasculaire comprend une quinzaine d'éléments en ce point) égalisent leurs éléments et se préparent à la division. La moelle reparaît au centre, refoule les masses vasculaires vers l'extérieur et de lamelleuses les rend cunéiformes. Elle pénètre ensuite dans leur intérieur, les coupe en V et amène en écartant les branches un commencement de juxtaposition des éléments conducteurs de la sève.

Alors s'opère la séparation des cotylédons. Le cylindre central devient elliptique; les faisceaux procambiaux se rapprochent du centre pour passer dans le premier entre-nœud encore à l'état embryonnaire. Les faisceaux libéro-ligneux s'en écartent au contraire. Le liber marche plus vite que le bois, l'opposition s'achève. Les trachées primitives sont de tous les éléments ceux qui se déplacent le plus lentement. Bref, lorsque les faisceaux sont arrivés à hauteur convenable ils possèdent l'orientation sécantielle.

La structure de la tige ne s'observera que dans le premier entre-nœud, le collet comprend ici toute la longueur de la tigelle.

VIOLARIÉES. — *Viola odorata*. Le passage est essentiellement le même chez le *V. odorata* que chez le *Nigella Damascena*. Je n'appellerai donc l'attention que sur certains faits de valeur secondaire et propres au végétal qui nous occupe.

La racine est à peu près cylindrique sur la plus grande partie de sa longueur; elle est conique dans sa partie supérieure pour se mettre en concordance avec le diamètre de la tigelle. Cette racine mesure 2 centimètres environ; la tigelle en compte trois et se termine par deux petits cotylédons elliptiques.

Le pivot présente encore le type binaire; sa structure est normale; ses faisceaux ligneux formés de deux rangs de vaisseaux ne laissent pas de moelle. La membrane épidermoïdale est des plus nettes. Au sommet de la tigelle, la couche qui la remplace est légèrement collenchymateuse.

L'endoderme passe peu à peu à l'état d'assise amylifère à cellules arrondies. La membrane rhizogène se comporte comme d'habitude. Elle ne disparaît en partie devant les faisceaux libériens qu'après la formation des faisceaux libéro-ligneux.

Le cylindre central conserve les caractères de cette partie de la racine jusqu'à 10 millimètres des cotylédons : soit sur les deux tiers de la tigelle; le passage n'est sensible et rapide que dans les 5 millimètres supérieurs. La première division du liber ne s'opère qu'à 6 millimètres des cotylédons; il ne se forme que trois masses; les nervures secondaires des feuilles séminales ne se libèrent que dans ces organes. La moelle se fait jour à 10 millimètres des cotylédons. La multiplication des vaisseaux et la pénétration du tissu conjonctif entre le péricambium et les trachées primitives se fait à la même hauteur. Ce dernier phénomène est plus hâtif ici que chez le *Nigella* où il n'avait lieu qu'après la pénétration de la moelle au sein du faisceau, pénétration qui lui donnait la forme d'un V. Cette disposition ne s'observe dans le *Viola odo-*

rata que 4 millimètres plus haut. Le faisceau primitivement cunéiforme entamé par sa face interne prend, pendant un certain temps, une disposition intermédiaire en Y (fig. 16, pl. 16). La superposition des éléments ligneux et libériens se fait toujours par l'intermédiaire des cellules conjonctives mères du cambium.

Au sommet de la tigelle, les faisceaux libéro-ligneux ont l'orientation sécantielle. A la base des cotylédons, les deux faisceaux voisins sont en voie de fusion.

Le premier entre-nœud étudié sur un végétal plus âgé présente dès sa base la structure normale de la tige, à cela près cependant que le rapport convenable entre la puissance du cylindre central et celle du cylindre cortical ne s'est pas encore parfaitement établi. Le dernier est encore un peu trop développé.

Sans être d'un rigorisme absolu, l'insertion des cotylédons marquera encore ici la limite supérieure du collet qui comprendra la tigelle entière, soit 3 centimètres. C'est le cas ordinaire jusqu'à présent.

Caryophyllées. — *Silene inflata*. Il était intéressant de s'assurer si le diamètre du végétal n'influait en rien sur la rapidité des phénomènes de passage. A ce point de vue le *Silene inflata* se présentait comme un sujet spécial en raison de ses dimensions exiguës. Nous verrons plus loin en étudiant des plantules extrêmement volumineuses, comparées à celles que nous avons analysées jusqu'à présent, que l'on trouve généralement la structure de la tige sur tout ou partie de la tigelle lorsque celle-ci est puissante.

Le *Silene inflata* montre que *passé un certain développement de la plantule, le diamètre ne joue plus aucun rôle*. D'un autre côté, les difficultés matérielles m'ayant forcé à m'adresser à un certain nombre d'échantillons, j'ai pu éclairer un autre point non moins intéressant. *La rapidité du passage n'est pas exactement la même pour différents sujets pris dans la même espèce*. Certains se comportant comme le *Nigella* présentaient, au sommet de la tigelle, des f. vasculaires avec l'orientation sécan-

tielle; d'autres, moins avancés, ne montraient au même point que la disposition en V. Ces végétaux se rapprochaient des *Raphanus* et *Reseda*.

La racine cylindrique sur la plus grande partie de son parcours est conique au sommet; elle mesure 2 centimètres. La tigelle plus courte ne compte que 1 centimètre. Les cotylédons très petits sont lancéolés. La structure du pivot est des plus normales. Les cellules épidermiques semblent se relever toutes en poils radicaux. Elles sont arrondies, trois fois plus petites que celles de la membrane épidermoïdale. Celle-ci est fort nette; c'est en étudiant cette plante et le *Lychnis githago* que j'ai eu pour la première fois l'idée de son existence. Les faisceaux vasculaires, au nombre de deux, sont unis au centre, unisériés.

Je décrirai le passage dans le sujet où il était le plus avancé au sommet de l'axe hypocotylé.

L'épiderme et la membrane épidermoïdale se comportent toujours comme dans les cas précédents. Je crois même inutile de revenir plus loin sur les transformations de ces éléments qui se comportent d'une façon à peu près identique dans le règne végétal entier : la cuticule apparaît rapidement à la surface des cellules épidermiques, mais les transformations morphologiques de ces cellules sont lentes et s'étendent sur une portion plus ou moins longue de la tigelle. La membrane épidermoïdale disparaît, en tant qu'organe protecteur, avec l'apparition de la cuticule.

L'endoderme, vers le sommet de la tigelle, est passé à l'état d'assise amylifère. Le cylindre central conserve la structure de cette partie de la racine jusqu'au milieu de la tigelle. La couche rhizogène ne disparaît que dans les cotylédons et seulement en face du milieu des faisceaux libériens. La première modification porte sur les faisceaux vasculaires qui presque au même point : 1° doublent le nombre de leurs éléments ; 2° se laissent pénétrer latéralement par le tissu conjonctif qui désunit les vaisseaux, fait déjà signalé chez le Raphanus et représenté dans la fig. 12 de la pl. 15 ; 3° se séparent de la membrane rhizo-

gène par interposition de tissu conjonctif. La moelle apparaît vers le tiers supérieur de la tigelle; elle s'introduit au milieu des éléments vasculaires, leur fait prendre la disposition en V. Elle les repousse ensuite latéralement un à un, et amène la superposition au liber des plus intérieurs.

Enfin ce n'est qu'immédiatement au-dessous des cotylédons qu'on voit les faisceaux libériens se diviser et la formation des faisceaux libéro-ligneux sécantiels par le refoulement vers l'intérieur des trachées primitives. Dans ces exemples les faisceaux sécantiels sont complètement isolés par pénétration du tissu conjonctif au milieu des trachées primitives. Pour la première fois, nous voyons apparaître un véritable rayon médullaire à la place du faisceau vasculaire radical. Il ne persiste pas longtemps ici; à la base des cotylédons, les deux faisceaux se rapprochent et s'unissent en un faisceau médian à bois centrifuge.

En résumé, malgré son faible diamètre le *Silene inflata* ne se comporte pas autrement que les végétaux précédemment étudiés; nous trouvons même chez quelques sujets une structure plus approchée de celle de la tige que celle que nous avons observée au sommet de la tigelle chez l'*Argemone* et le *Raphanus*.

Le collet s'étend encore ici sur toute la longueur de la tigelle.

Lychnis githago. — L'embryon développé du *L. githago* a trois fois environ les dimensions de celui du Silene; sa tigelle, mesurant 2 centimètres, a une longueur double; malgré cela les diverses phases du passage se produisent chez ces deux végétaux relativement à la même hauteur et dans le même ordre. Le passage fait un pas de plus chez le *Lychnis* : la tigelle possède à son extrémité une disposition de ses éléments très voisine de celle des éléments de la tige (fig. 17). Une légère inclinaison des faisceaux libéro-ligneux montre seule que le passage n'est pas terminé; elle s'efface totalement dès la base des cotylédons.

La structure de la racine est celle de la racine du *Silene* avec des éléments plus nombreux.

L'appareil tégumentaire se modifie peu après la cessation des poils radicaux. Le cylindre central de la racine se continue jusqu'au delà de la moitié de la tigelle. Là se produisent la multiplication des vaisseaux, la dislocation des faisceaux vasculaires par introduction du tissu conjonctif entre leurs éléments et leur séparation de la couche rhizogène. Cet état transitoire se maintient jusqu'à 1 millimètre des cotylédons sans autre changement que le report de plus en plus accentué vers l'intérieur des trachées primitives par le développement du tissu conjonctif interposé entre elles et le péricambium. Elles sont ainsi amenées en face du liber.

Les phénomènes se passent donc en grande partie au sommet de la tigelle. Les faisceaux libériens s'étendent le long de la membrane rhizogène, se rapprochent des faisceaux vasculaires et se divisent en trois masses. La moelle apparaît, et, repoussant un à un les vaisseaux isolés contre les faisceaux libériens, donne naissance aux faisceaux libéro-ligneux orientés selon la sécante; les trachées sont déjà, nous l'avons vu, à la hauteur convenable. Les faisceaux s'isolent de la même façon que chez le *Silene*. Selon la tendance habituelle, les faisceaux qui ont tiré leur bois du même groupe vasculaire radical tendent à s'unir. Dans le déplacement, ils perdent leur orientation anomale. Les faisceaux isolés en se rapprochant tournent sur leur extrémité interne, et se placent à peu près parallèlement sur le prolongement de deux rayons très rapprochés. Pour cette raison leur fusion n'est pas progressive comme dans les cas précédents, mais se fait par toute leur face latérale à la fois. La fusion est de courte durée; aussitôt commencée, le faisceau libéro-ligneux se divise en trois masses inégales, origines de la nervure principale et des deux latérales. Ces derniers faits sont peu importants; l'orientation presque radiale des faisceaux libéro-ligneux que nous observons pour la première fois dans la tigelle même l'est bien davantage pour nous qui nous efforçons de trouver la réalisation de la structure de la tige aux dépens des éléments provenant directement de la racine. En résumé, les limites du collet sont encore ici celles de la tigelle.

Linées. — *Linum usitatissimum.* — Avec le lin nous faisons un nouveau pas. L'orientation des faisceaux libéro-ligneux est tout à fait radiale dans la partie supérieure de la tigelle. La largeur trop considérable du cylindre cortical qui occupe encore les deux tiers du rayon, vient seule empêcher l'assimilation complète à la tige ; il a, pourtant, déjà beaucoup perdu de son importance : il formait les 8/9es de la racine (fig. 19 et 20, pl. 16).

La plantule fort longue mesure près de 10 centimètres. La tigelle y entre pour les trois quarts environ (7 centimètres). La racine grêle dans sa partie terminale accroît brusquement son diamètre vers son milieu; il n'y a aucune différence entre le volume de la racine prise à sa base et celle de la tigelle.

La structure de la racine est normale; la membrane épidermoïdale est bien nette; le cylindre central présente le type binaire déjà accusé extérieurement par une double série de radicelles.

Les phénomènes de passage sont très lents; ils débutent avec la tigelle et ne s'achèvent qu'immédiatement avant la naissance des cotylédons. *Le collet mesure donc 7 centimètres.*

Le système tégumentaire, le cylindre cortical, les membranes protectrice et rhizogène se comportent comme dans les cas précédents. Ces dernières, au sommet de la tigelle, sont difficiles à séparer du tissu conjonctif qui les environne.

La moelle apparaît presque aussitôt après le changement d'épiderme; peu puissante d'abord, elle se contente de séparer les faisceaux vasculaires unis dans la racine et de les repousser vers le péricambium; puis s'agrandissant, nous la voyons sur le parcours du deuxième centimètre comprimer davantage ces faisceaux et leur faire prendre la forme d'un coin à large base; pénétrant ensuite peu à peu dans leur intérieur, elle leur donne la configuration d'un Y, puis celle d'un V. J'ai déjà signalé et représenté cette division lente des faisceaux vasculaires chez le *Viola odorata* (pl. 16, fig. 16). Pendant le trajet du troisième centimètre, les trachées primitives sont d'abord repoussées vers l'intérieur par l'apparition puis la

multiplication des cellules conjonctives et le péricambium; plus haut le mouvement des trachées s'arrête; elles se séparent des parties profondes du faisceau formant les branches du V et déjà opposées au liber. Nous avons vu quelque chose de semblable chez le *Raphanus niger* (pl. 15, fig. 13). Cette structure ne se conserve pas longtemps; dans les 3 centimètres supérieurs, les trachées isolées partent une à une, les unes à droite, les autres à gauche et rejoignent les grosses masses vasculaires latérales (pl. 16, fig. 18). Elles se rassemblent sur le bord le plus rapproché de ces masses et les faisceaux libéro-ligneux, tout en étant isolés, prennent une orientation intermédiaire entre la disposition centripète et l'orientation sécantielle. Les faisceaux de la nervure médiane des cotylédons du *Raphanus* (pl. 15, fig. 15) présentaient cette disposition à la naissance de ces organes. Les trachées primitives se reportent ensuite peu à peu vers le milieu des faisceaux, l'orientation sécantielle apparaît; puis, par le même procédé que nous avons décrit chez le *Lychnis*, les deux faisceaux d'une même paire se rapprochent en tournant sur eux-mêmes pour prendre l'orientation normale (pl. 16, fig. 19). Avant de pénétrer dans les cotylédons, chacun d'eux se divise latéralement; les deux masses médianes se rapprochent, se confondent et forment la nervure médiane des cotylédons; les autres en constitueront les nervures secondaires (fig. 20, *nm*, *nl*).

Les faisceaux libériens se scindent en trois dès le deuxième centimètre (fig. 18). Vers la naissance des cotylédons le faisceau procambial médian (*fvt*, fig. 18, 19, 20) donne naissance à trois, puis à cinq petits faisceaux libéro-ligneux radiaux, qui passent tous dans le premier entre-nœud. Les masses latérales suivent le bois aussitôt après la juxtaposition de ces deux éléments.

Malvacées. — *Althæa rosea*. Ce végétal présente pour nous un intérêt tout particulier. Il nous fournit le premier exemple d'un pivot possédant quatre faisceaux vasculaires; deux de ces faisceaux se comportent d'une façon toute nouvelle.

La plantule mesure 9 centimètres; elle est plus volumineuse qu'aucune de celles que nous avons passées en revue tout en conservant des dimensions moyennes. La racine très longuement conique atteint insensiblement le volume de la tigelle. Celle-ci mesure 5 centimètres et se termine par deux cotylédons foliacés.

La structure de la racine est normale, le cylindre cortical est puissant. Les stigmates de la couche protectrice sont peu évidents; le nombre des cellules de cette membrane est double de celui des cellules de l'avant-dernière couche du parenchyme cortical. Le cylindre central (fig. 21, pl. 16) présente quatre faisceaux vasculaires disposés en croix, largement séparés par une moëlle volumineuse. Les faisceaux libériens alternes sont très petits et se distinguent mal du tissu conjonctif.

Les parties extérieures à la membrane rhizogène suivent la marche habituelle. Le péricambium disparaît en face du milieu des faisceaux libéro-ligneux et procambiaux, il persiste dans les autres points avec une puissance différente; son maximum de développement correspond toujours à l'ancien emplacement des faisceaux vasculaires radicaux qui donneront naissance aux nervures médianes des cotylédons. Un centimètre et demi après le changement d'épiderme, les faisceaux libériens se divisent en deux masses égales; chacune se rapproche du faisceau vasculaire voisin et facilite ainsi la superposition du bois. Ces faisceaux semblent n'avoir rien de commun avec le procambium destiné au premier entre-nœud (fig. 21-24 *fl*, pl. 16).

Il convient de séparer de prime abord les faisceaux vasculaires en deux groupes formés chacun par une des branches de la croix. L'un donnera naissance aux nervures médianes des cotylédons, l'autre aux nervures latérales de cet appendice. Ils se comporteront très différemment. Les faisceaux du premier groupe (*nm*, fig. 21-25, pl. 16) conservent leur faciès radical jusqu'à 4 millimètres des cotylédons (fig. 21-23); ils subissent là le sectionnement en V (fig. 24); leurs éléments se dissocient ensuite pour se superposer un à un au liber et donnent ainsi naissance à des faisceaux libéro-ligneux qui pénètrent dans les

cotylédons (fig. 25) avec cette disposition intermédiaire entre l'orientation centripète et l'orientation sécantielle, disposition représentée dans les fig. 15-18. En résumé le passage est peu actif dans ce groupe, il n'est pas poussé plus loin que chez le *Raphanus niger*. Les mouvements commencent dans le second groupe, 2 centimètres plus bas que dans le premier, soit à 25 millimètres des cotylédons. Ces faisceaux doublent premièrement le nombre de leurs éléments et les disposent en deux séries parallèles. Le tissu conjonctif, en s'introduisant ensuite au milieu d'eux par leurs deux extrémités à la fois, les sépare complètement en deux masses parallèles (*fvnl*, fig. 22). Ils s'écartent peu à peu l'un de l'autre, mais conservent leur parallélisme jusqu'à un centimètre des cotylédons. Le tissu conjonctif se multiplie alors entre les extrémités internes, les faisceaux s'inclinent et se superposent en partie au liber voisin (fig. 23). Les faisceaux libéro-ligneux, ainsi disposés, possèdent la même orientation que les faisceaux de la nervure médiane au moment de leur pénétration dans les cotylédons; ils la perdent bientôt par une sorte de contraction qui rapproche peu à peu les trachées non opposées au liber des vaisseaux qui ont déjà opéré leur jonction avec cet élément. Je ne puis mieux comparer ce mouvement qu'à celui d'un morceau de caoutchouc fixé par une de ses extrémités, revenant sur lui-même après avoir été étiré. Le point fixe correspond ici aux vaisseaux les plus larges unis au liber, l'extrémité libre aux trachées primitives. Ce mouvement achevé, les faisceaux présentent l'orientation sécantielle (*nl*, fig. 24, 25). Ils la conservent à peu de chose près jusque dans les cotylédons.

Le procambium (*pcx*, fig. 22-24) apparaît entre les demi-faisceaux du deuxième groupe aussitôt après leur formation. Il s'étend, comblant le vide, au fur et à mesure que ces faisceaux s'éloignent l'un de l'autre; à la naissance des cotylédons (fig. 24) il prend un développement énorme.

Le diamètre du cylindre central s'accroît notablement dans le parcours de la tigelle. Ne formant que le 1/6 de la racine

il constitue le 1/3 de la tigelle à 5 millimètres des cotylédons avant l'écartement excessif des faisceaux causé par la proximité de ces organes.

Géraniacées. — Avec le *Geranium sanguineum* nous retrouvons le type binaire. Ce que j'ai dit précédemment sur les végétaux présentant une structure analogue me permet d'être bref, les phénomènes de passage ne présentant rien qui soit nouveau pour nous.

La plantule mesure 3 centimètres. La racine, longuement conique, s'attache sur la tigelle sans donner lieu à un changement brusque dans le diamètre de l'axe. La partie lisse se termine par des cotylédons étalés à longs pétioles engainants, elle est longue de 16 millimètres. La soudure des pétioles donne, à première vue, une longueur à la tigelle qu'elle est loin de posséder réellement. La structure de la racine est normale. Son cylindre central se poursuit jusqu'à 2 millimètres des cotylédons, aussi n'est-il pas étonnant de voir les formations secondaires se produire dans la tigelle du Geranium exactement de la même façon que dans sa racine. Déjà, en ce point, la multiplication des trachées s'est opérée, mais là seulement ont lieu l'apparition de la moëlle, sa pénétration au milieu des faisceaux vasculaires et la scission du liber en trois lambeaux. Les faisceaux vasculaires appuyés extérieurement sur le péricambium, latéralement contre les faisceaux libériens conservent la disposition en V jusqu'à la naissance des feuilles séminales. Les trachées quittent la membrane rhizogène et les faisceaux libéro-ligneux prennent la disposition sécantielle. Les faisceaux provenant du même groupe vasculaire radical restent confondus par leur partie interne. Cette orientation anomale prolongée jusque dans les feuilles séminales, me force encore à limiter supérieurement le collet chez le *Geranium* à la base du premier entre-nœud.

Balsaminées. — *Impatiens glanduligera.* — Je recommanderai particulièrement ce végétal pour suivre les modifications des membranes protectrice et rhizogène, des faisceaux libériens et l'agrandissement du cylindre central.

La plantule est plus volumineuse que celle de l'*Althæa rosea*; elle présente comme elle le type quatre. Les faisceaux vasculaires se divisent encore en deux groupes opposés destinés à former l'un, les nervures médianes, l'autre, les nervures latérales des feuilles cotylédonaires. Les faisceaux libéro-ligneux, constituant les nervures latérales, pénètrent dans le pétiole avec l'orientation selon la sécante. Les faisceaux vasculaires qui doivent fournir aux nervures médianes (*fv*, fig. 28, pl. 16) se présentent dans le même point avec l'orientation centripète. C'est le premier exemple où la formation des faisceaux libéro-ligneux soit aussi peu avancée au sommet de la tigelle.

L'axe hypocotylé mesure 5 centimètres. La racine, longue de 2 centimètres, est grêle dans toute sa portion inférieure; elle se renfle brusquement à son sommet pour se mettre en concordance avec le diamètre de la tigelle et donner insertion à deux séries de quatre radicelles aussi volumineuses que le pivot. L'ensemble constitue un système fibreux. En étudiant d'autres végétaux, plus volumineux, il est vrai, mais dont la racine se comporte de la même façon, nous verrons que ce développement brusque et considérable de l'axe concorde généralement avec des phénomènes très rapides (1). L'*Impatiens glanduligera* échappe à cette règle, sans doute en raison de son volume encore trop peu considérable (2).

La racine, avons-nous dit, est normale (fig. 26, pl. 16), mais les faisceaux ligneux présentent une disposition de leurs éléments plus commune chez les Mono que chez les Dicotylédones. Ils sont discontinus et comprennent deux parties; une externe formée de trois ou quatre trachées de faible diamètre et appuyée sur le péricambium; l'interne indépendante de la précédente, commune aux quatre masses, consiste en deux larges vaisseaux ponctués, isolés au milieu du tissu conjonctif. Un renflement rapide de l'axe indique généralement, avons-nous dit, la limite inférieure du collet, il débute chez l'*Im-*

(1) Le *Tropæolum majus* que nous étudierons immédiatement après l'*Impatiens*, nous en fournira un exemple.

(2) Il rentrera dans notre groupe *b*.

patiens au-dessous du changement d'épiderme. Lorsque naissent les radicelles (fig. 27), ces gros vaisseaux sont remplacés par un grand nombre de vaisseaux réticulés plus étroits. Nous verrons par la suite que c'est exactement par le même procédé que s'opère chez les Monocotylédones la disparition des larges vaisseaux ponctués dans le passage de la tige à la racine (1). Il n'était pas sans intérêt, pour notre sujet, de faire ce rapprochement entre végétaux qui, bien que très éloignés par tous les autres caractères, présentent tant de points communs dans la forme et la structure de leur racine et des parties voisines.

La membrane épidermoïdale est suivie d'une seconde couche de cellules hexagonales. L'une et l'autre conservent cette forme dans la tigelle ; elles deviennent collenchymateuses au sommet de cet organe. Le parenchyme cortical augmente considérablement de volume lors du renflement de la racine ; son diamètre diminue ensuite d'une façon sensible. Le rapport des deux cylindres qui est de $\frac{1}{2}$ dans le pivot est de $\frac{5}{6}$ à 5 millimètres des cotylédons avant le déplacement des faisceaux nécessité par la libération de ces organes.

La couche protectrice formée de cellules tabulaires dans la racine présente des cellules complètement arrondies et riches en amidon dans la moitié supérieure de la tigelle. Le péricambium perd, presque dès la base de la partie lisse, une partie de ses cellules en face du liber ; on le retrouve à l'état disloqué jusque dans les cotylédons. Les faisceaux libériens s'étalent dès la base de la tigelle ; ils se scindent en deux parties, un centimètre plus haut ; enfin la jonction des masses procambiales intermédiaires n'a lieu qu'à 5 millimètres des cotylédons. Le cylindre central se dilate aussitôt après l'apparition des vaisseaux réticulés, une moelle volumineuse prend jour. Les faisceaux vasculaires repoussés vers la couche rhizogène y demeurent à l'état cunéiforme avec tous les caractères des faisceaux radicaux jusqu'à la séparation des cotylédons ; une

(1) On pourra rapprocher des fig. 26-27, les fig. 67-68, pl. 19, qui montrent les premières phases du passage chez le *Triglochin palustre*.

rangée de cellules conjonctives vient cependant s'interposer entre les trachées primitives et la M. rhizogène. Les deux faisceaux qui formeront les nervures médianes conservent à peu près cette disposition jusque dans le pétiole (fig. 28, pl. 17); les autres se fendent en V et se superposent au liber dans un espace tellement court que leurs éléments prennent, pendant ces mouvements, une disposition oblique. Aussitôt formés les faisceaux jumeaux se séparent et se rapprochent des nervures médianes. Ils se présentent dans le pétiole avec l'orientation sécantielle.

La tigelle est, ici plus que jamais, une région transitoire.

TROPŒOLÉES. — *Tropæolum majus*. L'étude de l'axe hypocotylé du *Tropæolum majus* est instructive. Elle est intéressante par l'ordre des phénomènes de passage qui nous force à reculer la limite inférieure du collet au-dessous du changement d'épiderme et la marche des faisceaux destinés au premier entrenœud.

Les caractères extérieurs de la racine sont ceux de l'*Impatiens glanduligera;* elle porte à son sommet considérablement accru un assez grand nombre de radicelles disposées sur quatre rangs. L'augmentation très rapide du diamètre est rendue encore plus sensible par la présence de la coléorhize. La tigelle est fort courte, presque nulle.

Le pivot dans sa portion grêle, présente la structure d'une racine normale. Les quatre faisceaux vasculaires formés chacun par une série unique de vaisseaux sont réunis au centre. Dans la partie supérieure renflée, la disposition de ses éléments s'altère et nous allons voir les transformations du cylindre central débuter avant le changement d'épiderme.

La moelle apparaît 1 millimètre au-dessous de ce point; très large dès son origine elle amène l'agrandissement du cylindre central et lui donne l'ampleur qu'on lui connaît dans la tige. Le rapport entre la puissance des deux cylindres est de 1/2 dans la racine et d'un peu plus de 2/1 dans la tigelle (1).

(1) Le chiffre supérieur correspond au cylindre central.

Je passerai sous silence tout ce qui n'a pas trait aux faisceaux conducteurs. Les éléments les plus extérieurs se comportent comme dans les cas étudiés jusqu'à présent.

Après l'apparition de la moelle, les faisceaux vasculaires repoussés vers l'extérieur prennent l'aspect cunéiforme. Le nombre des éléments de ces coins est plus grand que celui des branches de la croix radicale. Leur extrémité externe quitte immédiatement la couche rhizogène, et, lorsque survient le changement d'épiderme, nous trouvons les trachées primitives reportées vers l'intérieur à la hauteur de la face interne du liber. L'attache des radicelles rend difficile l'étude de ce point, mais, quoi qu'il en soit, l'on voit chaque faisceau s'écraser sur lui-même et former une lame perpendiculaire à la direction du faisceau vasculaire radical. J'ai représenté cette disposition chez le *Fumaria grandiflora* (fig. 9, pl. 15). Je ferai seulement remarquer que l'écrasement a lieu ici par rapprochement des vaisseaux ponctués des trachées primitives, tandis que dans le cas précédent les vaisseaux les plus étroits se rapprochaient des plus larges. Les trachées occupent le centre de la lame dont les extrémités s'appuyent sur les faisceaux libériens voisins. Liber et bois constituent deux faisceaux sécantiels réunis par leur portion interne. L'union cesse presque immédiatement pour les uns, un peu plus tard pour les autres. Les mouvements sont plus lents dans les faisceaux cotylédonnaires (*fc*., fig. 29, pl. 16). Après sa libération, chaque faisceau tourne peu à peu sur lui-même pour prendre l'orientation radiale et à la naissance des cotylédons, nos huit faisceaux sont disposés à peu près normalement.

Les faisceaux libériens s'étalent considérablement le long du péricambuim; ils se réuniraient en un cercle continu sans quatre petites interruptions correspondant aux extrémités des faisceaux vasculaires. Après la superposition du bois, chacun se coupe en deux masses qui se concentrent au-dessus des demi-faisceaux vasculaires voisins.

En résumé, la tigelle présente à son extrémité une structure fort approchée de celle de la tige (fig. 30, pl. 16). Mais chose

exceptionnelle et d'autant plus remarquable qu'elle n'a pas, à ma connaissance, été signalée encore, une partie seulement de ces faisceaux pénètre dans les cotylédons. M[lle] Goldsmith (1) admet que les faisceaux conducteurs de la racine passent entièrement dans les cotylédons lorsque le pivot présente les types 2, 4, 8. Le *Tropæolum majus*, avec le type quatre, fait exception à cette règle. Si l'on divise ses éléments vasculaires en deux groupes opposés comme nous l'avons fait pour l'*Impatiens* et l'*Althæa*, nous verrons que les faisceaux du même groupe qui s'unissaient chez ces végétaux pour former la nervure médiane des cotylédons passent sans même se rapprocher dans le premier entrenœud (*fvt*, fig. 30). Les autres (*fc*) après s'être divisés une première fois, et avoir ainsi formé dans leur intervalle une partie du système libéro-ligneux du premier entrenœud, pénètrent dans les cotylédons; mais l'un des faisceaux d'une paire se rend dans une des feuilles séminales, le second dans l'autre; en un mot, ils se comportent comme les faisceaux qui deviennent les nervures latérales des cotylédons de l'*Althæa* et de l'*Impatiens*. Dans leur trajet oblique ils se bifurquent et les branches internes (*nm*) se soudent pour former les nervures médianes des premiers appendices.

Le collet débute ici 1 millimètre au-dessous du changement d'épiderme, il s'étend jusqu'à la base du premier entrenœud. Au delà, l'axe présente la structure de la tige; je m'en suis assuré.

AURANTIACÉES. — *Citrus aurantium*. L'oranger nous présente encore des faits nouveaux et intéressants.

La plantule est nettement conique (2) depuis l'insertion des cotylédons jusqu'à l'extrémité de la racine. Cette dernière est fort longue comparée à la tigelle qui ne mesure jamais plus de 2 millimètres. Les *cotylédons alternes* (je ne sais si ce fait a déjà été signalé) s'insèrent à des hauteurs variables, l'écart n'étant jamais cependant supérieur à 2 millimètres. Le diamètre du végétal est moyen et bien que l'axe ne se renfle pas subite-

(1) *Loc. cit.*, § 42.
(2) Certains échantillons présentent un léger talon.

ment comme chez le *Tropæolum*, mais sans doute en raison de la présence d'une moelle volumineuse et du peu d'étendue de la tigelle, nous verrons le passage débuter, comme précédemment, dans le cylindre central et avant le changement d'épiderme.

La structure de la racine est normale (fig. 34). L'épiderme, richement villeux, recouvre une membrane épidermoïdale à longues cellules hexagonales (fig. 31, pl. 16) nettement subérisées vers l'extérieur, et tellement caractérisées que je puis recommander l'oranger comme un des meilleurs végétaux pour l'étude de cette membrane. Le cylindre cortical est puissant et change peu de diamètre sur le parcours de l'axe hypocotylé et même au-dessus. La partie centrale présente une moelle volumineuse et des faisceaux en nombre variable avec les sujets et même quelquefois en différents points du pivot du même individu. Le type sept m'a semblé le plus fréquent, c'est celui que je décrirai. Les faisceaux vasculaires sont composés d'une dizaine d'éléments disposés en masses cunéiformes ; les faisceaux libériens sont également puissants.

Le changement d'épiderme et surtout les transformations (fig. 32) et la disparition de la membrane épidermoïdale sont des plus faciles à observer. Ils correspondent à l'apparition des glandes à huile essentielle (fig. 33), qui manquent complétement au dessous.

Les modifications se font sentir dans le cylindre central quelques millimètres au-dessous de ce lieu. La formation des faisceaux libéro-ligneux sécantiels se produit par une sorte d'écrasement de dehors en dedans semblable à celui que j'ai décrit chez *Fumaria grandiflora*. Pendant cette formation, les cellules externes de la moelle s'épaississent comme pour faciliter l'écrasement (1). Les faisceaux sécantiels confondus se séparent bientôt, et prennent bientôt l'orientation radiale en tournant sur eux-mêmes. Parmi les faisceaux vasculaires radicaux, cinq pénètrent dans les cotylédons (1-2, fig. 35, pl. 16),

(1) Cet épaississement rend l'étude difficile. Les vaisseaux ne se différenciant alors du parenchyme que par une légère coloration noirâtre.

deux dans le premier entre-nœud (3 — même figure). Les faisceaux destinés à la tige achèvent leurs mouvements avant de pénétrer dans la tigelle, ceux du cotylédon inférieur les suivent de près; ce n'est qu'au-dessus du changement d'épiderme que les faisceaux de la deuxième feuille séminale achèvent totalement le leur.

Le déplacement des faisceaux libériens précède ici celui des faisceaux vasculaires; ils s'élargissent considérablement et aussitôt après la division des faisceaux ligneux en deux masses s'unissent au-dessus de l'ancien emplacement de ces éléments. Dans la tigelle, ils forment un cercle continu.

Les choses vont plus loin. Les deux masses vasculaires opposées au même faisceau libérien se rapprochent aussitôt après leur naissance et se confondent. Cette union facilite considérablement la formation des faisceaux radiaux caulinaires. Mais je tiens à faire remarquer que la fusion des deux faisceaux n'amène pas, comme dans les cas précédents, la reconstitution en une seule masse des éléments d'un même faisceau vasculaire de la racine, mais celle d'un faisceau libérien. La tigelle nous présente pour la première fois le même nombre de faisceaux que la racine et non un nombre double. Le cotylédon inférieur, plus volumineux, reçoit trois faisceaux, l'autre n'en prend que deux.

Le péricambium persiste en face des faisceaux cotylédonaires; il disparaît en face des autres. La moelle et le cylindre central ne subissent pas d'accroissement notable.

Le collet aura ici les mêmes limites que celui du *Tropæolum*, le peu d'étendue de la tigelle ne permettant pas sa division; mais il est bon de constater que cet organe présente en son sommet la structure de la tige.

Acérinées. — *Acer campestre*. Les phénomènes de passage se produisent dans le même ordre et par des procédés presque entièrement semblables chez l'oranger et l'érable. S'effectuant beaucoup plus lentement chez ce dernier, ils se prêtent mieux à l'analyse et au dessin. Je représenterai d'autant plus utilement les différents états de l'axe hypocotylé de l'érable qu'un

certain nombre de dicotylédones à plantule volumineuse se comportent à peu près de même. Les transformations se produisent presque entièrement au-dessous du changement d'épiderme; la tigelle présente la structure de la tige sur la plus grande partie de son parcours.

La tigelle mesure 6 centimètres, la radicule 5. Ces deux organes, longuement coniques, se superposent sans dilatation brusque de l'axe. La partie villeuse ne présente les caractères bien nets de la racine que 3 centimètres au-dessous du changement d'épiderme; au-dessus, les éléments du cylindre central sont déplacés.

La racine (fig. 36, pl. 17), présente le type quatre. Les faisceaux vasculaires et libériens sont très développés. Ils sont séparés par une large moelle.

L'épiderme, la membrane épidermoïdale, l'endoderme suivent la marche ordinaire. Le cylindre cortical, qui dépasse fort peu en volume le cylindre central dans la racine, perd beaucoup de son importance dans le parcours du collet. Au point où la structure de la tige apparaît, il ne constitue plus que le tiers du rayon. Le péricambium est fort stable. On le retrouve intact sur toute la longueur de l'axe hypocotylé, sauf pourtant au sommet où il disparaît en partie en face des faisceaux intermédiaires, propres à la tige, destinés au premier entrenœud et analogues aux faisceaux que nous avons rencontrés précédemment à l'état procambial dans plusieurs exemples.

Les faisceaux vasculaires se comportent absolument comme ceux de l'Oranger, mais leurs mouvements sont extrêmement lents. Ce qui s'était produit sur l'espace de quelques millimètres dans le cas précédent demande 7 centimètres ici (fig. 37-42, pl. 17). Ils quittent la couche rhizogène 3 centimètres avant le changement d'épiderme; repoussés d'un côté vers l'intérieur par la multiplication du parenchyme entre les trachées primitives et le péricambium, arrêtés de l'autre par la moelle, ils se divisent par leur face interne en s'étalant le long des faisceaux libériens. Lors du changement d'épiderme, les

trachées primitives arrivent à la hauteur de la face interne du liber; le premier mouvement s'arrête. Chaque faisceau vasculaire radical a formé alors deux faisceaux sécantiels qui demeurent unis quelque temps. Ces faisceaux se séparent et l'orientation centrifuge s'obtient par un mouvement de rétraction ou de contraction des éléments, mouvement que j'ai déjà assimilé au jeu du caoutchouc étiré revenant sur lui-même. Les trachées primives ne s'enfoncent pas dans la moelle pour prendre leur position définitive, mais chevauchent au-dessus des éléments plus larges; il n'y a rien du mouvement de volet. On trouve la disposition radiale des f. ligneux environ 5 millimètres au-delà de la base de la tigelle. Ce point marque également la terminaison du collet à la persistance du péricambium près (fig. 39).

Les faisceaux libériens s'étalent considérablement, mais, en respectant les rayons parenchymateux qui ont pris la place des faisceaux vasculaires de la racine, ils ne cessent de former quatre masses distinctes.

Le collet est donc complètement déplacé dans ce végétal, eu égard aux connaissances actuelles, puisqu'il se trouve compris presque entièrement dans la portion villeuse; un observateur superficiel pourrait croire à l'existence d'un collet limité à un plan. Réellement, il mesure 3 centimètres et demi, sur lesquels 5 millimètres seulement sont abrités par l'épiderme cuticularisé.

La tigelle présente à sa base huit faisceaux libéro-ligneux (fig. 40). En montant, les deux masses ligneuses opposées au même faisceau libérien se rapprochent et se confondent. La tigelle ne présente plus alors (fig. 41) que quatre faisceaux libéro-ligneux qui se rendent moitié dans un cotylédon, moitié dans l'autre. Les formations du premier entrenœud apparaissent à 5 millimètres des cotylédons; elles naissent, comme toujours, dans l'espace correspondant au point de séparation des feuilles séminales.

Les vaisseaux grillagés, fort nombreux, ont ici un diamètre considérable.

SAPINDACÉES. — *Cardiospermum halicacabum.* Après avoir passé en revue tant de végétaux dont la racine présente le type deux, il semblerait que nous ayons épuisé la matière sur ce sujet. Il n'en est rien. Le *Cardiospermum* va prouver ce que j'ai déjà avancé plus haut : 1° qu'au delà d'un certain diamètre il y avait lieu de tenir compte du volume de la plantule dans la rapidité du passage ; 2° que l'accroissement diamétral rapide du végétal vers le point de séparation des deux épidermes correspondait également à des mouvements précipités. Le collet occupera les mêmes régions que celui de l'*Acer;* il débute 1 centimètre au-dessous du changement d'épiderme et se termine 2 millimètres au delà.

La plantule très développée mesure 11 centimètres 1/2. La racine, longue de 5 centimètres, est grêle sur la plus grande partie de son parcours ; elle augmente supérieurement très rapidement de volume pour se mettre en concordance avec le diamètre de la tigelle. Le développement rapide du premier entre-nœud, déjà ébauché dans la graine, amène la présence de quelques formations secondaires, mais pas en assez grande quantité cependant pour empêcher l'étude.

La structure de la racine ne s'observe, avons-nous dit, que 1 centimètre au-dessous de la tigelle. Les faisceaux ligneux, très riches en éléments, forment deux masses cunéiformes réunies par leur base.

L'épiderme se comporte comme toujours. Il porte dans sa partie cuticularisée, outre des poils glandulifères, d'autres poils recourbés en crochet tout à fait spéciaux. L'endoderme passe à l'état d'assise amylifère. Le péricambium, dédoublé dans les parties les plus âgées de l'axe, est simple ailleurs. On l'observe dans tous les points de la tigelle, moins développé cependant en face du liber que devant les rayons médullaires.

Le refoulement des trachées primitives jusqu'à la hauteur de la face interne du liber se produit dans la radicule et marque la base du collet. A la suite, les faisceaux s'élargissent et forment une masse arrondie jusqu'au point où l'axe s'élargit. La moelle apparaît alors au centre ; elle s'insinue au milieu

des faisceaux vasculaires et les fend en V. Les deux V, restant confondus quelque temps par les extrémités de leurs branches, forment autour de la moelle un losange vasculaire. Ils se séparent lors du fractionnement en deux masses des faisceaux libériens. Les branches des V s'isolent et bientôt forment avec les masses libériennes voisines quatre faisceaux sécantiels indépendants. On peut les observer 3 millimètres au-dessous du changement d'épiderme. L'orientation radiale se produit dans les 5 millimètres suivants par un mouvement de concentration des vaisseaux semblable à celui que j'ai décrit chez l'*Acer*. La structure de la tige se trouve alors réalisée avec un péricambium continu. Le cylindre central égale alors en puissance le cylindre cortical; il continue à s'élargir en s'avançant vers les cotylédons; les faisceaux s'éloignent toujours davantage et sont bientôt séparés par de vastes rayons médullaires.

A la naissance des cotylédons les faisceaux se trifurquent. Les deux appendices reçoivent chacun les deux masses les plus rapprochées de leur portion médiane et provenant de deux faisceaux différents. Les huit faisceaux restants pénètrent dans le premier entre-nœud.

RUTACÉS. — *Ruta graveolens*. La Rue, bien que ne présentant qu'un médiocre intérêt au point de vue du passage, doit cependant nous retenir en raison : 1° de la structure de la racine qui nous présente, pour la première fois, le type trois; 2° de la destinée des faisceaux vasculaires qui constitue une nouvelle exception à la règle posée par Mlle Goldsmith (à moins que l'on admette la polycotylédonie de la Rue ou l'absence de premier entre-nœud dans ce végétal); 3° pour mieux faire ressortir la conduite toute différente des mêmes éléments chez les Légumineuses dont la racine présente une structure semblable.

Le végétal mesure 5 centimètres. La racine, longue de 1 centimètre, est conique. Il n'y a pas de changement brusque du volume de l'axe au point où l'épiderme villeux fait place au tégument cuticularisé. La tigelle est terminée tantôt par deux, tantôt par trois appendices foliacés insérés à la même hauteur.

Lorsque leur nombre est réduit à deux, ces organes sont fort différents de grandeur et de forme; le plus grand est toujours bipartite. Si le nombre est de trois, les folioles sont sensiblement égales, mais ne sont point équidistantes, deux sont opposées à la troisième autant que deux feuilles peuvent être opposées à une autre. La première idée porte à accorder trois cotylédons à la Rue, cotylédons qui peuvent dans certains cas être connivents à leur base; l'anatomie semble confirmer cette opinion, car dans un cas chaque foliole reçoit un des faisceaux vasculaires de la racine, dans l'autre, la grande feuille en reçoit deux. Malgré cela j'inclinerai vers la dicotylédonie de la Rue pour les motifs suivants : 1° La disposition opposée des folioles, dans l'hypothèse contraire, elles devraient être distantes de 120°; 2° l'état de décomposition des feuilles ordinaires de la Rue; 3° la marche des faisceaux comparée à celle de ces mêmes éléments chez l'Oranger, où des cotylédons inégaux recevaient un nombre différent de faisceaux proportionnel à leur volume; 4° le système conducteur de l'appendice supplémentaire est moins développé que celui des feuilles normales; 5° le faisceau libérien interposé entre les faisceaux ligneux destinés au large cotylédon ne donne pas naissance, comme ses homologues, à une masse médiane procambiale passant dans le premier entre-nœud; 6° enfin, il ne peut y avoir aucun rapprochement à établir entre les cotylédons des Gymnospermes et ceux de la Rue; l'innervation en est tout autre.

La racine est normale jusque dans sa partie supérieure; les faisceaux vasculaires, très rapprochés, ne se joignent pas au centre.

La première modification porte sur le système tégumentaire; l'apparition des glandes semble plus tardive que chez l'Oranger; l'axe hypocotylé ne m'en a point présenté. La conduite des parties plus internes rappelle celle des mêmes éléments chez la *Nigella* et mieux encore chez l'*Argemone;* les faisceaux libéro-ligneux se présentent à la base des cotylédons avec l'orientation sécantielle. L'endoderme et le péricambium se comportent absolument de même. Les faisceaux ligneux quit-

tent la couche rhizogène vers le 1er centimètre au-dessus du changement d'épiderme, ils sont refoulés vers l'intérieur. Leurs éléments ne se multiplient et ne se coupent en V que vers le 4me centimètre. Après s'être opposées partiellement au liber, les branches se dissocient et se placent sur le prolongement l'une de l'autre par un mouvement de volet sur les trachées les plus larges. Les faisceaux libéro-ligneux ont alors l'orientation sécantielle qu'ils conservent jusqu'à la base des cotylédons. En pénétrant dans ces organes ils se condensent, se rapprochent de leur homologue et fondent en une masse cunéiforme, centrifuge, leurs éléments étalés plus bas en lame. La segmentation des faisceaux libériens ne s'opère qu'à l'extrémité supérieure de la tigelle; elle est différente selon les faisceaux. J'en ai déjà parlé.

Le rapport des deux cylindres qui est de 1/4 dans la racine est de 1/3 environ au sommet de l'axe hypocotylé.

En résumé, le collet comprend ici toute la tigelle, sans que nous trouvions la structure de la tige au-dessous des cotylédons; on ne la rencontre qu'immédiatement au-dessus de ces appendices.

Zanthoxylées. — *Ptelea trifoliata*. La plantule mesure 7 centimètres 2. La racine, longuement conique, compte 4 centimètres et s'attache sur la tigelle sans donner lieu à un renflement de l'axe au point de jonction. Sa structure est normale sur toute l'étendue de la partie villeuse. Elle présente le type deux et les faisceaux vasculaires, très développés, ont leurs éléments groupés en deux masses cunéiformes confondues par leur base.

La série des modifications porte d'abord sur le cylindre cortical. L'épiderme se cuticularise, la membrane épidermoïdale devient collenchymateuse. Quelques millimètres au delà apparaissent les glandes construites sur le type de celles de l'Oranger. L'endoderme passe très vite à l'état d'assise amylifère. L'ensemble du cylindre cortical perd relativement peu de son volume, bien qu'au sommet de la tigelle nous trouvions une structure fort approchée de celle de la tige. Il constitue encore

les 3/5mes du rayon à 2 millimètres des cotylédons avant les déformations causées par la libération de ces organes. A 5 millimètres au-dessus du changement d'épiderme, les faisceaux libériens se coupent en deux parties qui se rapprochent des trachées primitives. Cette scission correspond à la superposition du bois. Les quatre masses libériennes ne tardent pas à dissocier le péricambium et s'appuient à la suite en partie sur la couche protectrice. Le mouvement de recul vers l'intérieur des trachées primitives s'opère en deux temps fort éloignés l'un de l'autre. Le premier se montre peu au-dessus du pivot (1 millimètre); il refoule la plus grande partie du faisceau au delà de la face interne du liber ne laissant en deçà que les trois ou quatre trachées les plus étroites. Ces dernières ne sont repoussées à hauteur convenable que 2 centimètres plus haut. La moelle apparaît dès la base de la tigelle; elle isole d'abord les faisceaux, pénètre ensuite au milieu d'eux et les coupe en V, amène la superposition de leur partie interne au liber et la production des faisceaux libéro-ligneux. Ceux-ci prennent l'orientation sécantielle, mais restant unis par les trachées primitives, conservent cette disposition jusqu'au moment où ces dernières sont repoussées plus intérieurement. Ils se séparent alors, tournent légèrement sur leur centre et prennent une orientation presque radiale. Ces mouvements ne sont achevés qu'à la naissance des cotylédons. Le collet s'étend ici sur toute la longueur de la tigelle.

Les masses procambiales du premier entre-nœud s'unissent avec le centre des faisceaux libériens; elles donnent naissance à des éléments ligneux centrifuges.

CÉLASTRINÉES. — *Evonymus Europæus.* Ce végétal ne nous présente aucun fait nouveau, il n'est remarquable que par la lenteur avec laquelle s'effectue le passage. Il demande 6 centimètres, débute avec le changement d'épiderme et s'étend jusqu'à 2 millimètres des cotylédons; plus simplement, il comprend la tigelle entière.

La racine, longuement conique, mesure 4 centimètres et présente le type quatre. Elle est normale; les cellules rhizogènes

très petites sont en nombre double de celles de la couche protectrice. Les faisceaux vasculaires sont réduits à une demi-douzaine d'éléments. Le centre est occupé par une large moelle. La première modification porte sur le système protecteur; l'épiderme cuticularisé apparaît, la membrane épidermoïdale se transforme en collenchyme.

L'endoderme suit ses transformations normales. Les faisceaux libériens s'étalent considérablement et se divisent en petits fragments de peu d'éléments. Ceux-ci dissocient bien vite les cellules rhizogènes et s'appuient sur l'endoderme; les seuls faisceaux extrêmes voisins des faisceaux vasculaires ne percent pas le péricambium qui persiste comme toujours entre les faisceaux libériens.

Dans le centimètre inférieur, les faisceaux vasculaires sont repoussés vers la moelle par apparition du parenchyme à leur face externe, puis se coupent en V, se séparent en deux masses bientôt orientées selon la sécante. Chaque faisceau, formé par une rangée de trachées peu cohérentes, garde cette disposition dans les 3 centimètres suivants; du quatrième au sixième centimètre, il groupe ses éléments, par un mouvement très lent de concentration, en un amas cunéiforme centrifuge.

Le système conducteur de la racine pénètre entièrement dans les cotylédons. Les nervures médianes se forment aux dépens des éléments d'un même faisceau vasculaire (et du liber opposé) dont les éléments, désunis pendant le renversement, s'unissent de nouveau au sommet de la tigelle. Les nervures latérales d'un même cotylédon prennent naissance de deux faisceaux différents. Mais, ce qui est important pour nous, nos faisceaux sont dans le même état de renversement au sommet de la tigelle; il n'y a pas cette inégalité frappante que nous avons observée chez l'*Althæa rosea* et l'*Impatiens*.

Légumineuses. — Cette famille présente un intérêt tout particulier, je m'y arrêterai longuement. Elle a déjà été étudiée et a fourni matière à M. Dodel (1) qui a cherché à montrer le

(1) *Op. cit.*

passage de la tige à la racine dans le genre *Phaseolus*, genre qui présente normalement le type quatre, et à M[lle] Goldsmith (1) qui a décrit avec grands détails la marche des fibro-vasculaires dans le *Vicia sativa*, végétal se rattachant au type trois. Je reprendrai ici succinctement les travaux de ces deux auteurs, non sur les mêmes échantillons, mais dans des cas très analogues. Je dois reconnaître dès l'abord l'exactitude de leurs résultats.

1° *Cas de quatre faisceaux. Phaseolus compressus.* — M. Dodel ayant décrit le passage chez les *P. vulgaris*, *multiflorus et erectus* (*var. nanus*), j'ai choisi le *P. compressus* et je puis étendre à ce végétal les résultats obtenus avec les plantes précédentes.

Mais, hâtons-nous de dire que le genre Phaseolus est de beaucoup un des plus mauvais pour suivre le développement des phénomènes de passage, M. Dodel aurait pu arriver plus commodément à des résultats encore plus satisfaisants s'il avait fait choix d'autres sujets. Ainsi que le fait remarquer cet auteur, le nombre des faisceaux très variables dans la racine (bien que cet organe semble appartenir au type quatre, on en rencontre beaucoup plus souvent un nombre plus élevé) l'est encore davantage dans la tigelle, d'où des complications fâcheuses; l'altération rapide et la chute consécutive du parenchyme cortical rend difficile et souvent impossible l'étude des transformations dans le système tégumentaire; l'endoderme est fort mal caractérisé, le péricambium est anomal. Le bois et le liber se comportent seuls d'une façon bien nette.

La plantule se divise en deux parties très inégales en diamètre : l'inférieure grêle, correspondant seule à la racine proprement dite, présente la structure de cet organe et ne porte pas de radicelles; la supérieure, fort volumineuse, s'étend jusqu'aux cotylédons et constitue notre collet. Elle porte de nombreuses radicelles et est recouverte par l'épiderme villeux au moins dans sa partie inférieure. La tigelle est fort courte,

(1) *Op. cit.*

réduite à quelques millimètres; elle semble même manquer chez certains sujets, soit qu'elle manque réellement, soit que la desquamation du cylindre cortical se fasse sentir là jusqu'au-dessous des cotylédons, ce qui ne serait pas étonnant, vu la faible longueur de la tigelle.

Le péricambium simple et formé d'énormes cellules en voie de division en face des faisceaux libériens change complètement de caractère en face des f. vasculaires où il constitue des massifs de 3 ou 4 rangs de cellules faisant saillie dans le cylindre cortical. Je me suis assuré par des coupes faites près du point végétatif que l'on n'avait pas là affaire à des productions secondaires. Le centre de la racine est occupé par une large moelle.

Les modifications portent d'abord sur le cylindre central, les faisceaux ligneux deviennent plus puissants, puis sont repoussés vers la moelle. Pour abréger, ils se comportent comme les faisceaux de l'*Acer campestre*, avec cette différence pourtant, que le passage de l'orientation sécantielle à la disposition radiale ne se fait pas par concentration des éléments mais par un mouvement de volet. Ce dernier fait n'a lieu que très près des cotylédons et sur tous les faisceaux à la fois; le renversement ne s'opère pas entièrement; l'orientation radiale ne se réalise jamais dans l'axe hypocotylé. Les phénomènes ne vont pas plus loin; les masses vasculaires opposées au même faisceau libérien ne s'unissent pas.

On peut suivre l'endoderme et le péricambium sur la plus grande partie de l'axe hypocotylé. Sectionnés très fréquemment dans la partie supérieure par le passage de nombreuses radicelles, leur étude devient difficile.

Les faisceaux libériens s'étalent beaucoup mais ne se réunissent jamais au-dessus des f. vasculaires. Ils ne se divisent qu'au point où naissent les cotylédons. Les portions extrêmes passent dans ces appendices avec le bois opposé, la partie médiane se rend dans le premier entre-nœud. Nous trouvons la structure de la tige au-dessus des feuilles séminales. Il ne va plus en être de même avec quelques-uns des végétaux que nous allons étudier maintenant.

2°. *Cas de trois faisceaux vasculaires.* — Mlle Goldsmith, en signalant chez le *Vicia sativa* une production centripète de bois jusque dans le quatrième entre-nœud de ce végétal, reculait les limites du collet d'une façon tellement considérable que la revision de son travail semblait s'imposer. Je n'ai pas repris le *Vicia sativa*, mais j'ai obtenu des résultats si approchés avec l'*Ervum lens* que j'ai cru inutile de pousser plus loin. Je ne mets pas en doute les faits acquis par le travail de Mlle Goldsmith.

J'ai montré précédemment que le collet pouvait débuter avant le changement d'épiderme et s'étendre jusqu'à l'insertion des cotylédons. Je ferai voir maintenant que le cas du *Vicia* n'est pas isolé, bien que je le regarde jusqu'à présent comme un cas extrême, et que la structure de la tige peut ne se réaliser que bien au delà des feuilles séminales : tantôt après le premier entre-nœud (*Lathyrus*), après le second (*Ervum*)). Dans tous ces cas le changement d'épiderme marque la limite inférieure du collet. Nous voilà loin du plan mathématique !

Après avoir étudié la Lentille, et m'être assuré de la véracité des résultats précédemment avancés, j'ai voulu me rendre compte des causes de cette anomalie. Le problème était difficile et ce n'est qu'après de patientes recherches, pouvant donner lieu à une publication spéciale, et en m'adressant à plusieurs sujets différents que je suis parvenu à dénouer le nœud gordien. Je ferai le plus brièvement possible l'histoire du passage chez les *Medicago falcata*, *Lathyrus odoratus et latifolius*, *Ervum lens*, végétaux qui, tout en présentant la même structure de leur racine, se posent comme intermédiaires entre les cas extrêmes par une réalisation de plus en plus lente du type de la tige.

Quelques notions préliminaires nous aideront à mieux saisir les faits. L'anomalie portant sur les faisceaux vasculaires, nous négligerons un peu les autres éléments de l'axe. Le cylindre central arrondi porte l'empreinte de la structure ternaire de la racine jusque sous les cotylédons ; au delà, il devient elliptique et présente au centre du bois centripète anomal rem-

plaçant la moelle, autour : quatre faisceaux ou groupes de faisceaux libéro-ligneux radiaires, opposés deux à deux. Parmi ceux-ci, les uns occupent les extrémités du grand diamètre et sont destinés aux feuilles, les autres, alternes avec les précédents, placés sur le petit diamètre, jouent le rôle de faisceaux réparateurs Le cylindre cortical de l'axe hypercotylé est sillonné de faisceaux libériens et libéro-ligneux extraordidinaires provenant des faisceaux du centre (pl. 17-18, fig. 42-45).

D'où provient ce bois centripète, comment disparaît-il? C'est ce que nous allons voir en pénétrant plus profondément dans la matière. Prenons d'abord le

Medicago falcata. Cet exemple, le plus simple, ne manque pas cependant d'intérêt. Si le collet se trouve encore compris ici dans les limites ordinaires, il va nous montrer clairement la destinée d'une partie des faisceaux radicaux et aussi un mode de formation des f. libéro-ligneux que nous n'avons pas encore vu. Le bois restant en place, le liber fait tout le chemin pour effectuer sa superposition à ce premier élément. La plantule est longue de 3c,5, elle est grêle. La tigelle mesure 2c,5 et se termine par des cotylédons épigés réunis dans leur portion inférieure, ce qui donne à première vue à la tigelle une longueur qu'elle ne possède pas réellement.

Le diamètre de la racine croît insensiblement pour atteindre celui de la tigelle; la structure de cet organe est normale; l'endoderme est mal caractérisé; le péricambium est formé de deux assises de cellules en face des f. vasculaires. Ceux-ci sont égaux, équidistants et puissants, composés de deux séries de trachées; ils laissent au centre trois ou quatre cellules conjonctives formant un rudiment de moelle.

Les modifications portent d'abord sur le système tégumentaire. L'endoderme ne présente rien de particulier dans ses transformations; l'assise rhizogène est visible jusque sous les cotylédons, elle commence là à faire défaut devant les f. libériens. Sur nos trois faisceaux vasculaires, deux se rendent dans les cotylédons, le troisième à la première feuille au-dessus. Leur conduite est toute différente, selon qu'ils se rendent

à l'un ou l'autre organe. Tandis que les faisceaux cotylédonaires conservent toute leur puissance, le troisième perd très rapidement la plus grande partie de ses éléments et se trouve bientôt réduit à trois ou quatre trachées. Ce faisceau conserve sa position sur tout le parcours de la tigelle; les autres tournent autour du centre et viennent se placer en opposition, de telle façon qu'en son milieu, la tigelle ne présente plus en son centre une étoile vasculaire à trois rayons mais une simple lame ponctuée, en son milieu, d'un amas de petites trachées. Dès la base de la portion lisse, les trois faisceaux sont repoussés vers l'intérieur par l'interposition de parenchyme entre eux et le péricambium ; ils se réunissent alors. La moelle reparaît plus haut; à partir de ce point nous devons séparer notre étude en deux parties. Les faisceaux cotylédonaires se coupent en V, se superposent au liber, puis, par concentration des éléments de chaque branche au-dessous du liber, succèdent deux faisceaux cunéiformes au faisceau lamelleux de la racine. Les f. libéro-ligneux formés n'ont pas une orientation nettement radiale, ils sont légèrement inclinés. Ils conservent cette disposition jusqu'au moment où ils pénètrent dans les cotylédons. Le troisième faisceau rapporté dans la moelle, à la hauteur du liber voisin, 1° n'est pas pénétré par le tissu conjonctif; 2° n'est pas repoussé contre le liber. Mais s'il ne bouge pas, ses éléments changent d'orientation sur place, en s'égalisant d'abord, puis en se différentiant dans un ordre justement opposé à celui qu'ils possédaient primitivement, c'est-à-dire qu'ils se présentent maintenant avec les caractères de la formation centrifuge. Pendant que ces phénomènes se produisent, les extrémités rapprochées des faisceaux libériens voisins s'isolent, puis marchent l'un vers l'autre, se rencontrent et s'unissent au-dessus de notre faisceau centrifuge, donnant ainsi naissance à un faisceau libéro-ligneux ayant tous les caractères qu'on connaît à ces éléments dans la tige. Chaque faisceau libérien se comporte donc comme d'habitude : il se fend en trois masses. La médiane, procambiale, passe dans le premier entre-nœud. Nous comprenons facilement comment la racine

possédant le type trois, la tige revêt le type quatre. Le quatrième faisceau provient seul diretement de la racine; il possède forcément le faciès caulinaire, car il doit être regardé comme résultant de l'union de deux faisceaux et nous n'avons pas d'exemple jusqu'à présent de deux faisceaux, quels qu'ils soient, s'unissant sans donner naissance à un faisceau radial.

Le collet comprend, chez le *Medicago falcata*, l'étendue entière de la tigelle.

Lathyrus latifolius et odoratus, *Ervum lens* (fig. 42-44, pl. 18, pl. 17 f. 45). Ces trois végétaux diffèrent du précédent, 1° par leur courte tigelle supportant des cotylédons hypogés; 2° par le diamètre plus considérable de l'axe hypocotylé, qui change parfois assez brusquement de diamètre dans sa partie supérieure.

Racine et tigelle. — Les trois faisceaux vasculaires sont très puissants et réunis au centre, ils sont égaux et inclinés de 120° (fig. 42) les uns sur les autres aussi bien dans la racine que dans la tigelle. Il y a pourtant, en certains points, de légères variations, mais elles ne deviennent jamais permanentes; à la naissance des cotylédons les trois faisceaux sont toujours également espacés. Comme conséquence, les premiers appendices ne sont point opposés, mais déjetés d'un même côté à 120° d'intervalle. Loin de perdre de leur puissance, les f. vasculaires s'accroissent sans cesse en approchant des cotylédons. Deux pénètrent dans ces organes, le troisième est destiné à la première feuille au-dessus. Ils ne subissent que peu de modifications au-dessous des cotylédons, leur extrémité externe est reportée à la hauteur de la face interne du liber. Lors de la séparation des feuilles séminales, une petite moelle insuffisante pour isoler les faisceaux vasculaires (fig. 43) apparaît au centre. Elle s'étend longitudinalement au milieu des faisceaux cotylédonnaires, les fend en deux masses égales et incline leurs éléments vers les faisceaux libériens voisins. Le faisceau foliaire est simplement entamé à sa face interne. Lorsque naissent les cotylédons l'axe présente une structure très approchée de celle de la racine. Ce n'est qu'à partir de ce point que

les faits deviennent véritablement intéressants. Nos trois faisceaux, par des moyens similaires, se divisent *transversalement*, chacun en deux masses, les trachées s'isolant des éléments plus larges ponctués en grande partie ou réticulés. Les groupes externes se comportent seuls comme ceux du *Medicago* et, par conséquent, y correspondent seuls. Il y a pourtant cette différence que les faisceaux cotylédonaires ne se renversent que dans leur traversée du parenchyme cortical. Les faisceaux libériens suivent la même marche que chez le *Medicago*, je ne m'y arrêterai pas.

Axe épicotylé. — Si nous jetons maintenant un coup d'œil d'ensemble sur l'axe au-dessus des cotylédons, nous verrons que sa structure s'est déjà considérablement transformée et que la disposition des faisceaux se fait selon un mode nouveau : le type quatre qui se réalise de la même façon que chez le *Medicago*. Le cylindre central est alors elliptique (fig. 44), et les faisceaux occupent les extrémités des deux diamètres. Le système conducteur de la première feuille provenant directement de la racine se trouve à une des extrémités du grand diamètre. Le faisceau opposé se rend à la deuxième feuille. Celui-ci, comme les deux intermédiaires, provient du procambium qui s'unit au centre des faisceaux libériens de l'axe hypocotylé. Les faisceaux intermédiaires restent tantôt simples, tantôt se bifurquent. La tige présente alors six faisceaux libéro-ligneux. Tous s'appuient sur la couche rhizogène qui demeure intacte dans tous ces échantillons.

Si l'axe ne nous présentait que ces faisceaux, nous aurions affaire à une véritable tige, mais il convient de nous rappeler que la partie profonde des faisceaux vasculaires de la racine n'a pas été entraînée au dehors et n'a pas pris part au renversement. Ces éléments traversent le nœud inférieur et pénètrent tels quels dans le premier entre-nœud. Nous les retrouvons au centre; ils donnent à la tige un aspect d'autant plus spécial qu'ils ne changent rien à leur mode de génèse centripète (fig 44, *rr*).

Bien que les causes de l'anomalie restent les mêmes, l'aspect

de la coupe peut être tout à fait différent, selon que la moelle s'oblitèrera ou non au-dessus des cotylédons et la puissance des faisceaux vasculaires, puissance qui est intimement liée à la persistance plus ou moins grande des éléments extraordinaires.

Je m'attacherai uniquement à ces éléments dans ce qui va suivre. Je prendrai ces faisceaux chez l'*Ervum lens* où par suite de la disparition de la moëlle, les phénomènes sont les plus complets.

Au moment où nous les avons abandonnés, la moelle, ayant pénétré en leur milieu et séparé longitudinalement les faisceaux cotylédonaires en deux masses, avait divisé la masse centrale en deux paquets : l'un ouvert en V et comprenant la partie interne du faisceau foliaire et les portions voisines des faisceaux cotylédonnaires; l'autre formé par les restes de ces derniers réunis en lame au-dessus du liber interposé. Ils restent peu en cet état. Le cylindre central se contracte, les deux masses se rapprochent, puis se joignent faisant disparaître complètement la moelle. Par leur union ils reconstituent l'étoile vasculaire radicale à trois branches centripètes avec les trachées étroites en moins (fig. 44, *rr*). Cette disposition s'altère bientôt : les branches correspondant aux feuilles séminales perdent une partie de leur puissance et tendent à se confondre en un seul faisceau, toujours centripète, opposé au troisième et en continuité directe avec lui (fig. 45, pl. 18). La première disposition semble avoir échappé à M[lle] Goldsmith qui ne décrit et ne représente que le second état du résidu radical : huit foyers de production du bois; deux centripètes centraux et six centrifuges latéraux. En réalité il y en a d'abord trois centripètes.

Cette disposition se conserve un certain temps, puis, l'activité productive des faisceaux centripètes diminuant peu à peu, ces faisceaux s'isolent. Ils s'éloignent toujours davantage, mais la disparition des résidus cotylédonaires s'opérant plus vite que celle du dernier faisceau, celui-ci demeure quelque temps après les autres.

Dans l'*Ervum lens*, ce n'est que vers la naissance de la

deuxième feuille que la dernière trace des faisceaux médians disparaît; d'après M[lle] Goldsmith, ce ne serait que dans le quatrième entre-nœud que le pareil fait s'observerait dans le *Vicia sativa*.

Lorsque la moelle ne s'oblitère pas au delà des cotylédons (on en rencontre parfois des exemples chez la Lentille, et il semble que chez les *Lathyrus* ce soit là le cas normal), la structure de la tige apparaît beaucoup plus bas que précédemment. Les deux masses résidus ne s'unissent pas, l'étoile vasculaire ne reparaît pas, le faisceau lamelleux disparaissant presque dès la base du premier entre-nœud. Les autres branches du système cotylédonaire se comportent de même et la partie interne du troisième faisceau persiste seule. On peut l'observer sur la plus grande partie du premier entre-nœud, il perd progressivement de son importance et manque totalement vers l'insertion de la première feuille.

Pour résumer : l'anomalie que nous présentent les genres *Lathyrus*, *Ervum*, *vicia* est simplement due au passage au delà des cotylédons de la portion profonde des faisceaux vasculaires radicaux centripètes. Ces prolongements coexistent avec les formations propres à la tige, aussi la structure de cet organe apparaît-elle dans toute sa pureté immédiatement après la disparition du dernier élément extraordinaire.

Comme conclusion : Le collet débutant avec le changement d'épiderme s'étendra jusqu'au sommet du *premier entre-nœud* chez les *Lathyrus odoratus* et *latifolius*, du *deuxième* chez l'*Ervum lens*, du *quatrième* chez le *Vicia sativa*.

C'est la première fois que nous voyons les phénomènes de passage s'étendre plus loin que les cotylédons. Je n'en ai pas rencontré d'autre exemple dans le courant de ces recherches.

ROSACÉES. — *Pirus communis*. L'embryon développé du Poirier est de volume moyen, sa longueur est assez considérable et compte 0^{m},085 également répartis entre la radicule et la tigelle. Les cotylédons ne sont pas opposés; ils sont seulement écartés de 144^{c}. La partie villeuse est longuement conique. Elle présente au sommet ce renflement indice

presque certain du début des phénomènes de passage dans le cylindre central.

La radicule présente la structure de la racine sur la plus grande partie de son étendue; l'endoderme et la membrane épidermoïdale fortement subérisées tranchent sur le reste des tissus. Le cylindre central présente cinq faisceaux vasculaires cunéiformes riches en éléments et séparés par une large moelle.

Les modifications portent d'abord sur le cylindre central; le mouvement de recul des f. vasculaires est sensible dès le deuxième millimètre au-dessous du changement d'épiderme; il se continue jusqu'au cinquième millimètre au-dessus de ce point; les trachées primitives ont atteint alors la face interne du liber. Les changements dans le système tégumentaire se font d'après le mode ordinaire. A la membrane épidermoïdale font suite des cellules collenchymateuses. Les mouvements des faisceaux ligneux s'achèvent ensuite avant qu'aucun autre élément ne subisse de modifications. Les coins entamés par leur base se fendent en V. En raison de la situation profonde des faisceaux, les branches du V doivent s'opposer avant de rencontrer le liber. Les faisceaux libéro-ligneux présentent alors du premier coup l'orientation sécantielle. Les faisceaux provenant de la même masse vasculaire radicale confondus jusque-là par leurs trachées, se séparent, puis rassemblent leurs éléments contre le liber par un mouvement lent de condensation; leur nouvelle disposition est nettement centrifuge. La rapidité du mouvement est variable avec les faisceaux, certains ont achevé leur renversement que les autres ont encore l'orientation sécantielle. Les faisceaux libériens ne subissent pas de grandes modifications, loin de se diviser, plusieurs d'entre eux s'accolent après la formation des f. libéro-ligneux, les autres restent libres. Lors de cette fusion, une partie des faisceaux vasculaires se confondent également: si l'on n'a pas suivi la succession des faits on peut croire alors à un fait anormal. Les faisceaux procambiaux du premier entre-nœud naissent sous les cotylédons d'après le mode habituel. L'endoderme subit les modifications habituelles. Le péricambium n'est

entamé par le liber que dans le voisinage des feuilles séminales. Le cylindre central augmente sensiblement de diamètre sans atteindre cependant l'ampleur qu'on lui connaît dans la tige. Le rapport des deux cylindres qui est de 1/3 dans la radicule est de 1/2 sous les cotylédons, soit un accroissement de 1/6 pour le cylindre central.

Sur les cinq faisceaux radiculaires, quatre se rendent dans les cotylédons, le cinquième dans le premier entre-nœud, de là la position anormale des feuilles séminales.

Si l'on ne tenait compte de la division de la couche rhizogène, on limiterait le collet inférieurement à la naissance du renflement radical, supérieurement à la moitié de la tigelle. Si nous faisons entrer cet élément en ligne de compte, il faut reporter le dernier point à l'insertion des cotylédons. Je fais cette distinction en raison des quelques cas où nous avons observé l'intégrité continue de la membrane rhizogène, ce qui peut laisser un doute sur la valeur de l'interruption du péricambium comme caractère différentiel de la tige et de la racine.

Geum urbanum. — Après l'étude des Caryophyllées, des Légumineuses, il ne peut nous rester aucun doute sur la valeur des caractères que l'étude du passage de la tige à la racine pourraient fournir à la systématique. Le *Geum* comparé au *Pirus* nous en fournit un nouvel exemple. Dans le cas présent, la plantule est grêle, la puissance de son cylindre central est fort réduite, le passage est lent, les faisceaux libéro-ligneux pénètrent dans les cotylédons avec l'orientation sécantielle.

La racine est normale, elle présente le type deux; les f. vasculaires ne s'unissent pas au centre ; il n'y a pas de changement brusque du volume de l'axe vers le changement d'épiderme. Celui-ci s'opère $0^{m},03$ au-dessous des cotylédons. Le cylindre central conserve encore le faciès radical $0^{m},01$ au delà. Dans le centimètre suivant, les f. vasculaires quittent la couche rhizogène, mais, les parties profondes ne suivant pas le mouvement, le faisceau s'écrase et ses éléments se groupent en une lame perpendiculaire à sa direction primitive et la coupant en croix. Le passage est plus rapide dans le centimètre

supérieur. Les faisceaux libériens très grêles se scindent en deux parties qui s'avancent vers les faisceaux vasculaires voisins. Tout en restant fortement écartés ils s'unissent de nouveau un peu plus haut par l'apparition entre eux du faisceau procambial générateur du système conducteur du premier entre-nœud. Les lames vasculaires se coupent en leur milieu; les fractions poussées latéralement vont s'opposer au liber. Les faisceaux libéro-ligneux ont l'orientation sécantielle dès leur formation; ils la présentent encore à la base des cotylédons; là seulement ils se rapprochent de l'orientation radiale sans y atteindre. Le péricambium disparaît devant le milieu des faisceaux. La structure de la tige ne se réalise qu'à la base du premier entre-nœud; le collet comprend toute la portion lisse de la plantule.

CUCURBITACÉES. — Cette famille présente un intérêt tout particulier en raison de la structure anomale de sa tige. Je laisserai de côté la disposition générale des faisceaux, je m'attacherai seulement à montrer l'origine des f. ligneux bordés de liber à leur face interne et externe.

Nous étudierons parallèlement le passage chez le *Cucumis melo* et le *Cucurbita maxima* végétaux qui se présentent non seulement avec un aspect extérieur semblable, mais dont les mêmes éléments se comportent à peu près de la même façon. La plantule possède un diamètre considérable, celui du Potiron est beaucoup plus grand que celui du Melon. Le pivot, grêle dans sa partie inférieure, croît supérieurement très rapidement en diamètre. La tigelle plus large encore que la radicule la déborde et forme au-dessus d'elle une sorte d'auvent. Le talon vient encore accentuer cette disposition. Enfin, la tigelle du Melon est très longue ($0^m,085$), double de celle du Potiron.

La dilatation brusque de l'axe correspond comme d'ordinaire à des phénomènes rapides; ils sont localisés ici dans le renflement radical; le changement d'épiderme amène le plus souvent le parachèvement de la structure de la tige.

La racine est normale et présente le type quatre; les f. vas-

culaires et libériens sont très développés; les premiers encastrés en quelque sorte au milieu des derniers. Les formations secondaires apparaissent de très bonne heure mais ne nuisent pas à l'étude. Les faisceaux vasculaires ne se réunissent pas au centre.

La structure du cylindre central s'altère dès la base du renflement radical à plus de 1/2 centimètre du changement d'épiderme. Les f. vasculaires sont les premiers éléments qui entrent en mouvement. Pour abréger, ils se comportent comme ceux du *Phaseolus multiflorus*, avec cette différence pourtant, que l'orientation centrifuge du bois s'observe ici à la hauteur du changement d'épiderme, tandis que chez les *Phaseolus* elle ne se produit qu'à la naissance des cotylédons. Chez le Potiron, les faisceaux gardent pendant quelque temps l'orientation sécantielle, chez le Melon, les mouvements sont continus et très rapides. Les faisceaux médians des cotylédons sont les derniers à présenter l'orientation centrifuge.

Le cylindre central profite surtout de l'accroissement diamétral de la tige; la moelle devient énorme. Dès l'apparition de la cuticule, le rapport des deux cylindres est bien celui que l'on observe dans la tige. Aussitôt après la superposition du bois, les f. libériens diminuent de volume et se ramassent sur eux-mêmes. Les deux masses ligneuses opposées deviennent confluentes, puis se confondent. Ce mouvement correspond à l'entier achèvement des faisceaux centrifuges. Les quatre faisceaux dont nous venons de voir l'origine se divisent (plus hâtivement chez le Potiron que chez le Melon) en segments bientôt séparés par de larges rayons médullaires. Ces nouveaux faisceaux sont remarquables par le développement de leur liber qui déborde le bois. La portion libérienne extra-fasciculaire s'incline vers le bois et le recouvre latéralement; elle s'isole ensuite et s'achemine lentement vers la face interne du faisceau. A peine a-t-elle atteint son but, qu'elle se fixe, s'accroît notablement et donne au faisceau le faciès particulier aux faisceaux conducteurs des Cucurbitacées.

L'endoderme et le péricambium ne sont facilement discer-

nables dans la tigelle qu'en face des faisceaux; ailleurs, il faut une certaine attention pour les différencier du parenchyme. La couche rhizogène est interrompue non seulement en face des faisceaux libéro-ligneux, mais encore çà et là devant de petits faisceaux libériens intermédiaires.

En résumé, structure de la tige dès le changement d'épiderme, ce qui pourrait faire croire à un collet plan; formation des faisceaux anormaux vers le milieu de la tigelle seulement. La limite supérieure du collet variera donc selon que l'on prendra pour type le faisceau ordinaire des dicotylédones ou le faisceau typique des Cucurbitacées, la limite inférieure restant fixée au point où se fait le développement rapide de la radicule.

ŒNOTHÉRÉES. — La graine de l'*Œnothera biennis* donne naissance à une plantule très grêle, longue de 0m,025 environ. Le pivot extrêmement ténu se renfle supérieurement pour atteindre le diamètre de la tigelle.

La racine est normale et présente le type trois; deux des faisceaux vasculaires sont opposés, le troisième, beaucoup moins développé, est perpendiculaire à la direction des deux autres (nous avons vu une disposition analogue dans la tigelle du *Medicago*) et ne se réunit pas à eux. Ce faisceau est propre à la racine et disparaît avec le changement d'épiderme. M. Dodel avait signalé dans le *Phaseolus* le cas inverse : cessation de faisceaux caulinaires à la base de la racine. Le fait me paraît nouveau et constitue une exception à la règle de Mlle Goldsmith : Lorsque la racine présente trois faisceaux vasculaires, deux se rendent aux cotylédons, le troisième à la première feuille.

Le changement d'épiderme marque le début du passage. Le cylindre central, ne profitant pas de l'accroissement diamétral de l'axe, conserve la structure de cette partie de la racine jusqu'au milieu de la tigelle, soit jusqu'à 1 centimètre des cotylédons. Là apparaît la moelle qui disjoint les faisceaux vasculaires et repousse leurs éléments vers l'extérieur. Ceux-ci augmentent en nombre et d'unisériés se placent sur plusieurs

rangs. Les trachées primitives sont ensuite reportées vers l'intérieur, le faisceau s'écrase et prend une direction perpendiculaire à celle qu'il possédait dans la racine; ses extrémités se superposent au liber voisin et ainsi naissent les faisceaux libéro-ligneux orientés selon la sécante et confondus par leurs trachées. Cette disposition se conserve jusque dans les cotylédons.

Les masses libériennes situées entre le faisceau vasculaire radical et ses congénères ne se réunissent pas; elles se rapprochent des faisceaux caulinaires et assurent la formation des faisceaux libéro-ligneux. Le troisième se fend en deux et les fragments se comportent comme dans les masses précédentes. Le procambium apparaît au milieu d'eux et réunit pendant quelque temps les deux faisceaux isolés plus bas.

L'endoderme perd ses stigmates et pénètre dans les cotylédons chargé d'amidon. Les cellules rhizogènes diminuent considérablement de diamètre et finissent même par disparaître complètement en face des faisceaux libériens.

En résumé, le collet comprend ici la tigelle entière. La structure de la tige ne se réalise que dans le premier entre-nœud, le manque de puissance du cylindre central, aussi peu développé dans la tigelle que dans la racine, empêchant le renversement total des faisceaux.

Ombellifères.—Les trois végétaux (*Heracleum sphondylium*, *Anthriscus sylvestris*, *Fœniculum dulce*) que nous avons étudiés se comportant de la même façon, je ne les séparerai pas dans ce qui suit.

Les trois plantules sont conformées en un cône dont la base répond à l'insertion des cotylédons, le sommet au point végétatif de la racine. Le développement de chaque élément s'opère parallèlement à l'agrandissement du diamètre.

La longueur de la portion lisse est variable, de 3 centimètres et demi chez le Fenouil, elle tombe à 2 centimètres et demi chez l'*Anthriscus*, à quelques millimètres chez l'*Heracleum*, elle devient même nulle dans quelques exemplaires de cette dernière plante; l'insertion des cotylédons est alors marquée

par un renflement au sommet de la racine. Cette apparence est très commune chez les Monocotylédones où l'on trouve beaucoup plus de plantules acaules que chez les Dicotylédones. Les cotylédons, connivents à leur base, forment une gaîne qui est souvent percée par le point végétatif qui fait alors saillie latéralement, ce qui a complètement enduit en erreur M. Germain de Saint-Pierre dans sa recherche du collet (1).

La racine présente le type binaire; elle serait normale sans la structure toute spéciale de la couche rhizogène, due à la présence de nombreux canaux sécréteurs signalés et décrits par Van Tieghem, auquel (2) je renverrai pour ne pas trop m'écarter de mon sujet.

La longueur de la tigelle n'influe en rien sur la structure de la tigelle en son sommet. Nos trois végétaux présentent exactement la même disposition de leurs éléments lors de la naissance des feuilles séminales. Les premières phases portent sur le système tégumentaire. Le cylindre central conserve le faciès radical sur la plus grande partie du parcours de la tigelle. Le report des trachées primitives vers l'intérieur débute à 2 millimètres des cotylédons chez l'*Heracleum*, 5 millimètres chez l'*Anthricus*, 2 centimètres chez le Fenouil. Les autres phénomènes exactement semblables se produiront ensuite très rapidement, dans le parcours du dernier millimètre dans les deux premiers végétaux, plus lentement, dans le dernier centimètre chez le Fenouil. La moelle apparaît, les f. vasculaires sont repoussés vers l'extérieur, leurs éléments augmentent et se disposent en masse cunéiforme bientôt fendue en V par introduction du tissu conjonctif. Les deux branches appliquées contre le liber se scindent chacune en deux masses et donnent ainsi naissance par le processus que nous avons étudié chez le *Raphanus* et le *Nigella* aux faisceaux latéraux et médians des cotylédons. Les faisceaux latéraux sont radiaires et à bois centrifuge dès leur origine : les faisceaux médians restent cen-

(1) *Dictionnaire de botanique* (art. Collet), par G. de Saint-Pierre.

(2) *Recherches sur les canaux sécréteurs. Ann. sc. nat.* Botanique, 5e série, t. XVI.

tripètes et confondus en V jusqu'à la séparation des cotylédons. Ils prennent seulement alors l'orientation centrifuge par une fusion analogue à celle que nous avons représentée chez le *Nigella* dans la figure 6. Le liber suit les divisions du bois; chaque faisceau libérien se fend en quatre parties; trois masses procambiales apparaissent dans les intervalles et se joignent aux fragments.

En résumé, chaque cotylédon reçoit trois faisceaux libéro-ligneux provenant d'un même f. vasculaire radical et des deux demi-faisceaux libériens voisins. L'endoderme et le péricambium passent entièrement dans ces organes. Une partie des canaux sécréteurs semble se perdre; chaque f. libéro-ligneux ne présentant à sa face externe qu'un seul de ces organes, beaucoup plus développé, il est vrai, que ses congénères de la racine.

Les limites de la tigelle sont encore ici celles du collet. La structure de la tige n'apparaît que dans le premier entre-nœud.

Caprifoliacées. — *Sambucus nigra*. La plantule très grêle du Sureau mesure 7 centimètres 6. La racine, longue de 4 centimètres, est conique et atteint insensiblement le diamètre de la tigelle; elle est normale, présente le type deux (1).

Les f. vasculaires sont confondus au centre.

Le passage commence par la transformation du système tégumentaire. Le cylindre central conserve le faciès radical 1 centimètre au delà. La moelle apparaît d'abord et repousse les faisceaux vasculaires vers le péricambium après les avoir séparé; elle disparaît un peu au-dessus par un mouvement inverse causé par l'interposition du tissu conjonctif entre le péricambium et les trachées extérieures qui sont ainsi reportées à la hauteur de la face interne du liber. Il y a là une sorte de lutte dans l'établissement de l'ordre des phénomènes. La moelle ne

(1) M[lle] Goldsmith, *loc. cit.*, § 5, assigne six faisceaux au genre *Sambucus*. Je pense qu'il y a là erreur. Le peu de volume de la graine, la présence d'un albumen, font que l'embryon, fort petit, ne comporte pas un aussi grand développement du système conducteur.

reparaît ensuite qu'à 2 centimètres et demi du changement d'épiderme. Peu puissante jusqu'au troisième centimètre, elle s'accroît alors rapidement, refoule de nouveau les faisceaux vasculaires qui, cette fois, s'écrasent et prennent une disposition perpendiculaire à leur direction dans la racine. La superposition au liber s'effectue, les faisceaux libéro-ligneux s'isolent. Opposés bout à bout, ils possèdent l'orientation sécantielle qu'ils gardent à peu de chose près jusque dans les cotylédons.

Les faisceaux libériens s'étalent considérablement, mais ne se divisent qu'à la séparation des cotylédons; chacun donne naissance à cinq masses dont les trois médianes procambiales passent dans le premier entre-nœud ; les latérales contribuent seules à la formation des faisceaux libéro-ligneux cotylédonaires. L'endoderme se transforme en assise amylifère ; le péricambium reste indemne, mais dans le voisinage des cotylédons, le diamètre des cellules opposées aux faisceaux libériens est plus faible que celui des autres cellules. Le cylindre central augmente légèrement de diamètre ; il n'occupait pas le quart du rayon dans la racine ; il en couvre le tiers dans la tigelle.

Le collet comprend chez le Sureau la tigelle entière, sans que cet organe revête en aucun de ses points la structure type de la tige.

Rubiacées. — Le *Galium aparine* possède une plantule grêle à racine conique mesurant 1 centimètre et demi, et s'unissant à la tigelle sans changement brusque dans le diamètre. Cette dernière est longue de 16 millimètres environ. La racine normale présente le type binaire ; l'assise pilifère fugace recouvre une membrane épidermoïdale bien caractérisée ; les faisceaux vasculaires sont unis au centre.

Comme dans toutes les plantules où le cylindre central n'augmente pas de volume en passant de la racine dans la tigelle (le rapport des deux cylindres ne varie dans le cas présent qu'entre les limites du cinquième à un quart), les phénomènes sont lents, la structure de la tige ne se réalise qu'au delà des feuilles séminales ; les éléments provenant de la racine se per-

dent entièrement dans les cotylédons avant d'avoir passé par tous les états transitoires.

Lors de l'apparition de l'épiderme cuticularisé, la membrane épidermoïdale fait place à une assise de collenchyme. Le cylindre central de la racine se prolonge, dans la partie inférieure de la tigelle, un demi-centimètre au delà de la transformation des téguments. Entre ce point et l'apparition de la moelle, qui a lieu à 3 millimètres des cotylédons, les trachées primitives sont repoussées vers l'intérieur jusqu'à la hauteur de la face interne du liber. Le tissu conjonctif pénètre entre les faisceaux vasculaires, les sépare, les coupe en V en pénétrant au milieu d'eux, repousse les branches contre le liber en se multipliant entre elles et amène finalement la formation de quatre faisceaux libéro-ligneux orientés selon la sécante et confondus deux à deux par leurs trachées primitives. La segmentation des faisceaux libériens qui s'opère simultanément achève la formation des faisceaux. L'orientation transitoire se conserve jusqu'à la naissance des cotylédons. L'endoderme ne présente rien de particulier; le péricambium ne disparaît pas en face du liber, mais les cellules opposées à cet élément sont plus petites que les cellules voisines. Le collet du *Galium aparine* comprend toute l'étendue de la tigelle.

Valerianées. — *Centranthus ruber*. Le semis m'ayant fourni des végétaux de tailles très différentes, variant entre 3 et 7 centimètres, mais de diamètre sensiblement égal, j'ai profité de l'occasion qui m'était offerte de m'assurer que : *dans la même espèce, la structure de l'axe à la naissance des cotylédons restait la même, quel que fut l'élongation que prenait la plantule, les différences fussent-elles considérables comme dans le cas présent*. Le développement diamétral a seul de l'influence sur la rapidité des phénomènes.

Le végétal étudié mesure 6 centimètres 8. La racine ne comprend que 5 millimètres; elle est normale, appartient au type binaire et ne se renfle pas à son sommet.

Les phases du passage sont celles du *Galium;* elles se produisent dans le même ordre et de la même façon ; les f. libéro-

ligneux s'isolent complètement, ils gardent l'orientation sécantielle jusque dans les cotylédons. Le péricambium disparaît en face du milieu des f. libériens; la disparition commence vers le milieu de la tigelle, elle ne se fait pas simultanément sur tous les faisceaux; elle ne s'achève qu'au sommet de la tigelle. Le cylindre central conserve le faciès radical jusqu'au milieu de la partie lisse. Le report des trachées vers l'intérieur se produit entre le troisième et le quatrième centimètre et demi. En ce dernier point apparaît la moelle qui divise les faisceaux libériens, coupe les faisceaux vasculaires en V, etc. Les faisceaux libéro-ligneux isolés et sécantiels n'apparaissent qu'à 3 millimètres des cotylédons.

Toujours même délimitation du collet : l'étendue de la tigelle.

Dipsacées. — *Dipsacus laciniatus*. Le système vasculaire du premier entre-nœud peut, avons-nous vu, se prolonger dans la racine, et cela de façon différentes : tantôt certains faisceaux radicaux entiers dépassent les cotylédons (*Medicago*, *Ervum*, *Tropæolum*) et constituent alors la ou les nervures médianes des premières feuilles, tantôt (*Ervum*, *Lathyrus*) c'est une portion de tous les faisceaux qui va former une masse médiane anomale au centre de la tige. Le *Dipsacus* va nous faire connaître une nouvelle manière d'être de ces faisceaux communs : les nervures médianes et latérales des deux premières feuilles pénètrent dans l'axe hypocotylé et en parcourent librement une certaine étendue. Elles se fondent ensuite complètement avec les faisceaux cotylédonaires en transformant leurs trachées en vaisseaux réticulés qui occuperont plus bas la partie profonde des faisceaux vasculaires de la racine. Ces vaisseaux réticulés ne sont aucunement de formation secondaire, car les végétaux étudiés ne présentaient pas la moindre trace de division cambiale. Ce cas s'éloigne complètement de ce qui se passe ordinairement. Lorsque l'on suit les formations propres au premier entre-nœud dans l'axe hypocotylé et de là dans la racine, lorsqu'elles se poursuivent jusque-là, on les voit se fixer contre le liber, échanger leurs trachées pour des vaisseaux ponctués

et se continuer dans la racine non à l'état de bois primaire mais de bois secondaire. M. Dodel a parfaitement suivi cette marche chez le *Phaseolus*, j'ai pu l'observer maintes fois.

Le *Dipsacus* est encore intéressant par la disposition que prennent les faisceaux en certains points de l'axe hypocotylé.

La plantule est de diamètre moyen, sa longueur est considérable; elle atteint 8 centimètres. Les deux portions sont coniques et s'unissent sans donner lieu à un renflement à leur point de contact.

La racine longue de 3 centimètres présente une membrane épidermoïdale bien nette. Les cellules du péricambium en voie de division dépassent en grandeur celles de l'endoderme. Le cylindre central elliptique (fig. 46, pl. 18) contient deux faisceaux vasculaires largement séparés par la moelle.

Les modifications dans le cylindre central commencent peu au-dessus du changement d'épiderme; les mouvements sont lents; le collet mesure 5 centimètres. Le recul des faisceaux vasculaires vers l'intérieur ne demande pas moins de 2 centimètres et demi pour s'opérer. Pendant ce temps le nombre de leurs éléments s'accroît sensiblement. Cette augmentation et le déplacement amènent la disparition de la moelle (fig. 47). Elle reparaît vers le troisième centimètre; au lieu d'isoler les deux faisceaux, elle s'étend au milieu d'eux parallèlement à leur direction et les divise en deux lames symétriques. Ces lames, repoussées latéralement et par toute leur surface en même temps, vont recouvrir en entier les faisceaux libériens (fig. 48). Dans le trajet du troisième au quatrième centimètre, ces deux masses libéro-ligneuses se divisent chacune en trois parties. Les médianes destinées aux premières feuilles subissent peu à peu les modifications dont nous avons parlé plus haut; elles forment par leur division les nervures latérales de ces deux mêmes feuilles. Les faisceaux extrêmes possèdent d'abord un bois centripète; ils se condensent bientôt sur eux-mêmes, de lamelleux deviennent cunéiformes et transportent leurs trachées primitives au sommet de ces coins. L'orientation sécantielle se dessine, elle persiste quelque temps, puis s'efface par

un léger mouvement de rotation des faisceaux qui les rapproche beaucoup de l'orientation radiale. Celle-ci ne se réalise pas cependant avant la naissance des cotylédons (fig. 50). Vers ce point apparaissent les nervures latérales des feuilles séminales.

Les cellules du péricambium décroissent sensiblement; elles continuent à former une assise continue, mais les éléments opposés au liber s'en distinguent fort mal.

Le rapport des deux cylindres pris dans la racine (1/5) et vers les cotylédons (1/2) montre que la partie centrale prend un accroissement considérable dans le parcours de la tigelle.

Le collet comprend la tigelle entière; l'axe hypocotylé présente une structure fort approchée de celle de la tige en son sommet.

Composées. — Nous étudierons le Carthame et le *Tagetes erecta*.

1° *Carthamus tinctorius*. — La division des faisceaux vasculaires est en somme semblable à celle que nous avons décrite chez le *Dipsacus*, mais la destinée des faisceaux médians est tout autre; ils formeront les nervures latérales des cotylédons; le système radical n'a plus rien de commun avec le premier entrenœud.

La plantule est assez volumineuse; l'union de ses deux parties n'est pas marquée par un renflement de l'axe. La racine mesure 2 centimètres et demi; la tigelle 3 centimètres et demi.

Le pivot présente le type binaire; sa structure serait normale sans le dédoublement de l'endoderme en face des faisceaux libériens, dédoublement qui donne naissance aux canaux sécréteurs (1). Les faisceaux vasculaires puissants sont très rapprochés.

Le système tégumentaire marque par sa transformation la première phase du passage. Le report des trachées vers l'intérieur et l'union consécutive des faisceaux vasculaires s'observe presque aussitôt après. La moelle fait son apparition peu au delà,

(1) Voy. Ph. van Tieghem : Mémoire sur les canaux sécréteurs, p. 99, *Ann. sc. nat.*, 1872.

elle s'accroît très rapidement et sépare les faisceaux vasculaires en quatre masses : deux cunéiformes opposées, formées par la portion trachéenne des faisceaux ; deux lamelleuses comprenant les vaisseaux réticulés. Ces derniers s'opposent immédiatement au milieu des faisceaux libériens ; ce sont les analogues des faisceaux des premières feuilles du *Dipsacus*. Ils subissent les mêmes transformations de leurs éléments, mais au sommet de la tigelle chacun se subdivise en quatre faisceaux qui se rendent moitié dans un cotylédon, moitié dans l'autre pour en former les nervures latérales. Cette apparition des nervures latérales peu au-dessus du pivot est une des plus hâtives que nous connaissions. Les faisceaux cunéiformes centripètes restent intacts jusqu'au sommet du premier centimètre au delà du changement d'épiderme ; ils sont ensuite fendus en V par pénétration de la moelle et s'opposent au liber. Les deux segments restent confondus quelque temps par les trachées les plus étroites. Au moment de leur séparation (vers le deuxième centimètre) leurs extrémités sont généralement tournées vers l'extérieur, l'extrémité externe des faisceaux n'ayant pas atteint dans leur mouvement de recul la hauteur de la face interne des faisceaux libériens. L'orientation selon la sécante ne s'observe que près des cotylédons, elle se produit par concentration des éléments étendus en lame jusque-là. Elle persiste jusqu'à la naissance des feuilles séminales ; là, les deux faisceaux voisins tournent légèrement sur eux-mêmes, disposent parallèlement leurs éléments et se confondent en un gros faisceau nettement radial.

Les faisceaux libériens ne se divisent que dans le tiers supérieur de la tigelle. Chacun d'eux donne naissance : 1° à trois grosses masses correspondant aux faisceaux vasculaires opposés ; 2° à deux petits faisceaux intermédiaires destinés à former les nervures latérales des feuilles supérieures. La nervure médiane de celle-ci n'apparaît qu'au sommet de la tigelle lors de la libération des faisceaux latéraux des cotylédons avec lesquels elle est confondue plus bas. Le péricambium disparaît peu à peu en face du liber. L'endoderme entraîne dans les coty-

lédons les canaux résineux. On en trouve un en face de chaque faisceau; la nervure médiane qui résulte de la confluence des deux faisceaux en possède deux. Les canaux changent complètement de caractère en passant dans les cotylédons, ils sont là beaucoup plus grands et mieux caractérisés que dans l'axe. Nous avions signalé la même transformation chez les Ombellifères.

La puissance du cylindre central s'accroît d'une façon notable. N'occupant que le 1/6 du rayon dans la racine, il en couvre le 1/4 au sommet de la tigelle.

En résumé : structure de la tige réalisée seulement au point de départ des cotylédons; le collet comprend la tigelle entière.

2° *Tagetes erecta.* — Le collet a les mêmes délimitations chez le *Tagetes erecta*, mais la marche des éléments est tout autre.

Le passage de la tige à la racine est souvent décrit en prenant pour type le *Tagetes patula* qui se comporte exactement comme le végétal qui nous occupe. Cet exemple doit être abandonné. La conduite des éléments vasculaires est spéciale; on la retrouve, il est vrai, chez le *Raphanus*, l'*Ipomea purpurea*, le *Datura stramonium*, mais les cas en sont trop peu nombreux pour que ce type s'impose. Les trachées primitives s'isolent, mais elles ne vont point rejoindre le reste des faisceaux vasculaires comme chez le *Raphanus*.

La plantule est grêle; la tigelle mesure 4 centimètres; le pivot est de moitié moins long. La juxtaposition des deux organes ne donne lieu à aucune dilatation brusque de l'axe. La structure de la racine est celle du pivot du Carthame.

Les transformations commencent en même temps dans les deux cylindres. Pendant que s'effectue le changement d'épiderme, les faisceaux libériens se coupent en leur milieu. Les fragments s'éloignent l'un de l'autre et se placent de prime abord dans le voisinage des faisceaux vasculaires. Le cylindre central devient prismatique et les faisceaux libériens occupent les angles du prisme; ils conservent cette position jusqu'à la naissance des cotylédons. Ils entraînent dans leur marche latérale le système sécréteur qui se divise pour les suivre. La

formation des faisceaux libéro-ligneux est très rapide ; elle est achevée 5 millimètres au-dessus du pivot. Les faisceaux vasculaires entamés par leur face interne se coupent en V. La pénétration radiale du tissu conjonctif s'arrête en face de la trachée primitive ; elle s'opère alors latéralement et sépare cet élément du reste du faisceau (fig. 51, pl. 18). Les branches isolées sont simultanément repoussées : 1° vers l'intérieur pour atteindre la hauteur du liber ; 2° latéralement pour se superposer à cet élément. Les deux faisceaux libéro-ligneux ont manifestement leur bois dirigé vers la trachée isolée. Ils gardent cette disposition sur la plus grande partie de la tigelle, tant que la trachée demeure fixée contre la couche rhizogène. Ils changent ensuite peu à peu d'orientation au fur et à mesure que celle-ci s'enfonce dans le tissu conjonctif et finissent par prendre l'orientation sécantielle (1). Ils rassemblent ensuite en coin massif leurs éléments étendus jusque-là en lame. On rencontre parfois deux trachées isolées au lieu d'une ; elles sont alors toujours situées à la même hauteur, mais désunies, l'une plus rapprochée d'un faisceau, l'autre de l'autre. A la naissance des cotylédons les faisceaux libéro-ligneux tournent légèrement sur eux-mêmes mais ne prennent pas cependant l'orientation radiale ; par leur division ils forment les nervures latérales. Le système sécréteur les suit sans se modifier comme celui du Carthame. Les cellules rhizogènes se confondent totalement avec le liber en face de cet élément. L'agrandissement du cylindre central est peu sensible, toutes proportions gardées.

CAMPANULACÉES. — *Campanula rapunculoïdes.* La plantule rivalise d'exiguïté avec celle du *Silene* ; malgré ses faibles dimensions, nous trouvons à la base des cotylédons une structure fort approchée de celle de la tige. Le *Silene* nous avait offert quelque chose d'analogue.

La racine très grêle mesure 8 millimètres ; elle se renfle assez rapidement à sa base pour permettre l'insertion de la tigelle. Celle-ci est longue de 15 millimètres. La structure du pivot est normale ; il présente le type binaire ; les faisceaux

(1) Fig. 52, pl. 18.

vasculaires sont libres ; ils ne comprennent que deux trachées.

Le changement d'épiderme n'amène aucune modification dans le cylindre central ; celui-ci conserve le type radical dans la moitié inférieure de la tigelle. Pendant ce parcours, les faisceaux conducteurs doublent et même triplent le nombre de leurs éléments, si bien que les vaisseaux, se rencontrant au centre et ne pouvant rester sur une seule ligne, se disposent sur plusieurs rangs. Le refoulement des trachées primitives vers l'intérieur facilite encore cette disposition. La moelle apparaît ensuite, sépare de nouveau les faisceaux vasculaires, les pénètre, les coupe en V, enfin en isole les deux branches. Ces masses repoussées latéralement s'opposent au liber. Les faisceaux libériens se divisent en ce point, quatre faisceaux libéroligneux orientés selon la sécante apparaissent. Leur achèvement correspond à la naissance des cotylédons. Dans leur trajet pour se rendre à ces organes, les deux faisceaux voisins tournent sur eux-mêmes, se disposent parallèlement, se rapprochent, enfin se confondent en un faisceau unique radial.

Au sommet de la tigelle, la membrane rhizogène ne se distingue plus du liber en face des faisceaux. Le collet s'étend sur toute la longueur de la tigelle.

Convolvulacées. — *Ipomea purpurea.* Le passage s'opère de la même façon chez le Volubilis que chez le *Tagetes erecta*, mais les phénomènes portent sur quatre faisceaux vasculaires.

La plantule possède un volume moyen, sa longueur est assez grande.

La racine, longue de 4 centimètres, grêle sur la plus grande partie de son parcours, augmente rapidement de volume dans les 5 millimètres inférieurs.

La tigelle mesure $0^m,065$, elle est terminée par deux cotylédons foliacés.

La structure prise au delà du renflement est normale ; la m. épidermoïdale est fort visible. Le c. central est carré ; chaque angle est occupé par un faisceau vasculaire ; la m. rhizogène double ses éléments en face de ces points. Une large moelle occupe le centre.

Le passage débute ici au-dessous du changement d'épiderme dans la partie renflée de la racine, et, chose tout à fait nouvelle, dans le liber, les faisceaux libériens se divisent en deux parties égales qui se rapprochent rapidement des faisceaux vasculaires. Ce déplacement correspondant à l'élargissement du cylindre central, les deux faisceaux se trouvent bientôt à une distance considérable. Ils laissent entre eux de petites masses procambiales, premier indice du système conducteur du premier entre-nœud. Les autres parties de la racine conservent leur disposition jusqu'au changement d'épiderme; là les faisceaux vasculaires, repoussés vers l'extérieur, s'écrasent et groupent leurs éléments en un T dont la branche verticale est formée par les éléments les plus étroits toujours adossés à la couche rhizogène. Ce T se transforme ensuite en V par pénétration du tissu conjonctif au milieu de la branche verticale. Vers le premier centimètre le faisceau se coupe en trois parties, isolant la trachée primitive, comme chez le *Tagetes erecta*. Les branches latérales s'opposent au liber, mais restent tournées vers l'extérieur pendant 2 centimètres encore; elles prennent alors l'orientation sécantielle qu'elles conservent jusqu'à 1/2 centimètre des cotylédons; là les faisceaux précédemment lamelleux rassemblent leurs éléments en une masse cunéiforme; les nervures latérales prennent l'orientation radiale, les autres restent légèrement inclinées. Les faisceaux pénètrent en cet état dans les cotylédons, où nervures médianes et latérales se rapprochent au point de n'être plus séparées que par de véritables rayons médullaires. Dans le même temps, les trachées isolées s'enfoncent et se maintiennent à la hauteur du bois des faisceaux voisins, elles ne s'unissent jamais à aucun d'eux. Celles qui correspondent aux faisceaux médians des cotylédons passent dans ces organes, les autres disparaissent au moment de la séparation des nervures latérales. La couche rhizogène disparaît totalement en face des faisceaux libériens. Le cylindre central s'accroît d'une façon inusitée; aussi puissant que le cylindre cortical dans la racine, il est trois fois aussi étendu dans la tigelle.

Le collet de l'*Ipomea* comprend, outre la tigelle, la partie basilaire de la racine.

POLÆMONIACÉES. — L'embryon développé du *Polæmonium cæruleum* mesure 14 millimètres partagés également par le changement d'épiderme. La racine très grêle à son sommet s'accroît insensiblement pour atteindre le diamètre de la tigelle qui est loin d'être considérable. La racine est normale dans toute sa longueur, elle présente le type binaire, les faisceaux vasculaires ne s'unissent pas au centre.

Jusqu'à 1 millimètre des cotylédons, les seules modifications apportées à la structure de la racine sont : le changement d'épiderme, la disparition de la membrane épidermoïdale, la division des faisceaux libériens.

Dans le dernier millimètre, les faisceaux vasculaires, comprimés en quelque sorte par le développement rapide du tissu conjonctif à leurs faces interne et externe, s'écrasent en lames appuyées par leurs extrémités aux faisceaux libériens voisins. Les deux faisceaux libéro-ligneux qui naissent de cette juxtaposition sont confondus par leurs trachées les plus étroites, et présentent l'orientation sécantielle. Lors de la séparation des cotylédons, ces faisceaux tournent légèrement sur leurs éléments communs; ils s'inclinent l'un sur l'autre formant un V à pointe interne; ils ne réalisent pas l'orientation radiale. L'endoderme se confond avec le parenchyme cortical; le péricambium disparaît en face du milieu des faisceaux libériens. Le collet comprend encore la tigelle entière, avec renversement des plus rapides des faisceaux ligneux au sommet seulement de l'axe hypocotylé.

HYDROPHYLLÉES. — La longueur de la plantule de l'*Hydrophyllum canadense* est de 3 centimètres également répartis entre la tigelle et la radicule. Cette dernière reste grêle jusqu'à 2 millimètres du changement d'épiderme, elle augmente alors très rapidement de volume pour atteindre le diamètre de la partie lisse.

La structure de la racine est normale; la membrane épidermoïdale bien différenciée; le cylindre central contient deux

faisceaux vasculaires unis au centre. L'interposition du tissu conjonctif entre le péricambium et les trachées externes commence un peu avant le changement d'épiderme, mais le mouvement de recul des faisceaux est bientôt arrêté en raison : 1° de l'étroitesse du cylindre central qui ne permet pas aux vaisseaux de s'étaler ; 2° de la confluence des faisceaux. Le faciès radical du cylindre central se conserve dans la moitié inférieure de la tigelle. Au delà de ce point la moelle apparaît ; en séparant d'abord les faisceaux vasculaires, elle permet un nouveau mouvement de recul vers l'intérieur de ces éléments : leur extrémité externe atteint la face interne du liber. Vers le premier centimètre, le parenchyme s'introduit au milieu des faisceaux, les coupe en V, puis sépare complètement les deux branches. Celles-ci, repoussées latéralement, vont s'accoler au liber tout en conservant leur orientation centrifuge, comme nous l'avons vu faire précédemment aux faisceaux du *Dipsacus laciniatus;* ils conservent cette disposition jusque dans les cotylédons où un mouvement fort peu accentué de concentration tend à faire prendre l'orientation sécantielle à ces éléments, sans que celle-ci apparaisse. Le liber se divise en trois parties vers le treizième millimètre ; la masse procambiale médiane, destinée à joindre l'axe hypocotylé au premier entrenœud, apparaît lors de cette première division. La couche rhizogène semble se confondre avec le liber dans ses points de contact avec cet élément.

L'axe hypocotylé est loin de présenter la structure de la tige en aucun de ses points ; celle-ci n'apparaît qu'au delà des cotylédons : le collet comprend la partie supérieure de la racine et la tigelle entière.

Borraginées. — *Lithospermum gremil.* Plantule peu volumineuse mesurant $0^m,055$. La racine, grêle sur la plus grande partie de sa longueur, grossit assez rapidement vers sa base pour se mettre en concordance avec la tigelle. Sa longueur est de 2 centimètres. Sa structure est normale ; elle présente le type binaire. Dans la partie grêle les deux faisceaux vasculaires sont réunis.

Les phénomènes de transition se font déjà sentir dans la racine aussitôt après l'agrandissement du diamètre de cet organe. La moelle apparaît et sépare les deux faisceaux ligneux; du tissu conjonctif s'interpose entre les trachées primitives et le péricambium. Dans le premier centimètre au-dessus du pivot, les vaisseaux les plus étroits sont repoussés jusqu'à la hauteur de la face interne du liber; la partie profonde du faisceau ne s'enfonçant pas dans la moelle celui-ci s'élargit. Pendant le parcours du deuxième centimètre les faisceaux vasculaires sont coupés en V. Dans le centimètre suivant la pénétration du parenchyme se faisant latéralement, les branches du V se séparent de la pointe; bientôt après celle-ci se divise à son tour; ses deux portions vont rejoindre les masses principales, qui se sont adossées au liber; les faisceaux libériens se divisent en trois parties selon le mode habituel. Entre le troisième centimètre et la naissance des cotylédons, les faisceaux vasculaires rassemblent leurs éléments étendus en lame plus bas et prennent l'orientation sécantielle; ils la conservent dans les cotylédons. Au sommet de la tigelle les cellules de l'endoderme ne se différencient des éléments voisins que par la présence des grains d'amidon spécial et leur alternance avec les cellules du péricambium. Celui-ci disparaît peu à peu en face du liber.

En résumé, la structure de la tige ne s'observe en aucun point de l'axe hypocotylé, et cependant le collet comprend outre la tigelle l'extrémité supérieure de la racine.

Solanées. — Nous étudierons dans cette famille deux végétaux qui se comportent différemment.

1° *Datura stramonium*. La plantule de la Pomme épineuse nous présente à peu près la même série de transitions que le *Tagetes*, le *Convolvulus*, le *Raphanus*. Le tissu conjonctif ne sépare pas la trachée primitive de la couche rhizogène, aussi voyons-nous les faisceaux vasculaires conserver l'orientation centripète jusque dans les cotylédons. Les portions internes de ces faisceaux sont seules repoussées contre le liber.

La *trachée primitive* doit jouer un rôle des plus importants

dans la marche des phénomènes, elle *semble diriger les mouvements des faisceaux ligneux.* Nous avons vu qu'elle conservait sa position chez le *Raphanus* et le *Datura* et les faisceaux ligneux rester centripètes. Il en était de même chez le *Tagetes* et le *Convolvulus* jusqu'au point où la trachée primitive gagnait l'intérieur. On dirait que cet élément joue le rôle d'un aimant; se déplace-t-il, les faisceaux le suivent; s'arrête-t-il, ils font de même; connaît-on sa situation, on pourra préjuger de l'orientation des faisceaux!

Le *Datura* nous présente encore d'autres faits intéressants, d'importance secondaire il est vrai, mais qui doivent cependant nous retenir. Le volume de la plantule est moyen. La racine mesure 12 millimètres, la tigelle $0^{m},055$.

Le pivot présente le type binaire; sa structure est normale; les faisceaux vasculaires sont réunis au centre. Son diamètre s'accroît d'une façon très notable en s'avançant vers la tigelle, aussi n'est-il pas étonnant de voir débuter les phénomènes dans le cylindre central, c'est-à-dire avant le changement d'épiderme : la moelle apparaît avant ce point. Les faisceaux vasculaires se divisent à la base de la tigelle, mais d'une façon toute nouvelle. Le tissu conjonctif les entame latéralement et sépare complètement (fig. 53, pl. 18) les faisceaux les plus étroits des éléments les plus larges. Ces derniers se divisant d'abord en deux masses s'opposent aux vaisseaux libériens qui se sont divisés pour venir à leur rencontre. Ceux-ci abandonnent plusieurs petits faisceaux dans leur marche latérale; parmi eux, certains restent appuyés contre le péricambium; les autres s'enfoncent peu à peu dans la moelle et vont se placer en face des faisceaux vasculaires. Il en part d'abord quatre, correspondant chacun à un des demi-faisceaux vasculaires; plus haut quatre nouvelles masses suivront les premières. En se fixant à la face interne des faisceaux libéro-ligneux, ils donneront aux faisceaux conducteurs la structure anormale qu'on leur connaît chez les Solanées. Je ferai remarquer que cette origine des faisceaux bicollatéraux est semblable en tous points à celle des faisceaux anormaux des Cucurbitacées. Vers le premier

centimètre le faisceau vasculaire médian se divise en trois parties : deux latérales comprenant plusieurs éléments qui vont rejoindre les masses déjà opposées au liber, une médiane formée par la trachée primitive. Les faisceaux libéro-ligneux ont leurs trachées disposées en une lame à croissance centripète. Ils conservent cette orientation dans la tigelle et dans les cotylédons (fig. 54). La couche rhizogène se confond peu à peu avec le liber en face des faisceaux.

La structure de la tige est loin de se réaliser dans l'axe hypocotylé, elle n'apparaîtra qu'au delà des cotylédons. L'insertion de ces organes marque la limite supérieure du collet chez le Datura, le renflement radical la limite inférieure.

2° *Atropa Belladona.* — Le renversement des faisceaux vasculaires est encore moins prononcé chez la Belladone que dans le cas précédent ; ils pénètrent dans les cotylédons à l'état de V. Cet état d'infériorité tient non seulement à l'attache persistante des trachées primitives à la couche rhizogène, mais aussi au peu d'amplitude du cylindre central qui ne permet pas les mouvements.

Le diamètre de la plantule est faible, elle mesure 5^{c},5 sur lesquels la portion villeuse recouvre 2 centimètres. La radicule, très grêle sur la plus grande partie de son parcours, augmente assez rapidement de diamètre dans sa partie supérieure ; sa structure est normale, elle présente le type binaire ; la membrane épidermoïdale est bien développée ; les faisceaux vasculaires ne s'unissent pas au centre. Le cylindre central conserve le faciès radical jusqu'à 5 millimètres des cotylédons, c'est-à-dire 3 centimètres au delà de la transformation du système tégumentaire. A partir de ce point, on voit les vaisseaux se multiplier beaucoup, puis se dissocier par apparition de tissu conjonctif entre leurs éléments, enfin prendre la disposition en V par leur refoulement contre le liber. Parfois les branches du V s'isolent, mais elles ne sont jamais séparées par plus d'une cellule. C'est dans cet état que ces faisceaux pénètrent dans les cotylédons. Les faisceaux libériens, dans le même temps, se coupent d'abord en trois parties pour aller au devant

des faisceaux vasculaires et mettre le premier entre-nœud en communication avec la racine; ils subissent ensuite de nouvelles divisions. Les faisceaux de seconde formation s'avancent dans la moelle et vont recouvrir la face interne des faisceaux libéro-ligneux par un processus semblable à celui que j'ai décrit chez le Datura. La couche rhizogène, pénétrée par le liber, disparaît en face des faisceaux.

La structure de la tige ne se réalise que dans le premier entre-nœud. Le collet ne comprend que la tigelle.

Scrophularinées. — *Veronica hederæfolia*. Plantule de faible puissance, mesurant 4c,5. La racine, longue de 1 centimètre seulement, augmente surtout de volume dans sa partie supérieure sans qu'il y ait pour cela de saut brusque dans le diamètre. La membrane épidermoïdale est fort visible; le péricambium formé de deux rangs de cellules en face des faisceaux vasculaires; le liber fort étalé, les faisceaux vasculaires non réunis au centre.

Il faut remonter 2 centimètres au-dessus de la transformation des téguments, avant de trouver une nouvelle modification. Là apparaît le tissu conjonctif entre les trachées et le péricambium. Les faisceaux sont repoussés en bloc vers l'intérieur, mais le mouvement s'arrête avant que les éléments les plus externes se soient engagés dans la moelle. Aussi lorsque un peu plus haut, la moelle coupant ces faisceaux en V, puis les séparant en deux masses, aura formé deux petits faisceaux avec chacun d'eux, ces éléments auront leurs trachées les plus étroites tournées vers l'extérieur. Ils s'opposeront au liber tout en conservant cette disposition. Vers les cotylédons ils se ramassent sur eux-mêmes et prennent l'orientation sécantielle. Ils ne la perdent qu'en pénétrant dans les cotylédons; ils se rapprochent de l'orientation radiale en tournant légèrement sur eux-mêmes, mais conservent une disposition inclinée.

Les faisceaux libériens ne se divisent qu'à la séparation des cotylédons; ils donnent naissance aux trois masses obligatoires. Après avoir disloqué la couche rhizogène par leur pénétration, ils s'appuient directement sur l'endoderme.

Le collet comprend la tigelle seulement. La structure de la tige est presque réalisée à la naissance des cotylédons, moins toutefois l'élargissement du cylindre central qui reste fort étroit. Il est très rare d'observer dans la tigelle les deux cylindres avec la puissance qu'on leur connaît dans la tige. De toutes les modifications, l'élargissement du cylindre central, dans des proportions convenables, est certainement de beaucoup la plus difficile à obtenir. D'une façon générale, il se produit plus souvent dans les végétaux à grand diamètre que dans les autres. L'*Ipomea purpurea*, avons-nous vu, fait cependant exception à cette règle.

LABIÉES. — *Phlomis fruticosa.* La plantule est de volume moyen, mais fort allongée (0m,075). Le diamètre s'accroît insensiblement depuis l'extrémité de la racine jusqu'au changement d'épiderme ; il décroît ensuite plus insensiblement encore jusqu'à l'insertion des cotylédons.

La radicule, longue de 0m,025, s'éloigne du type normal en ce que la trachée primitive ne s'appuie pas immédiatement sur la première rangée de cellules après l'endoderme, mais sur la seconde. J'ai signalé plusieurs fois ce fait et notamment chez la plupart des Corolliflores étudiées. On pourrait peut-être tirer de là une caractéristique de ces végétaux. Je n'ai pas poussé assez loin ces recherches pour poser le fait en principe, je me contente de le signaler à l'attention. Les faisceaux libériens ne sont jamais séparés de l'endoderme que par une seule assise de cellules. La couche supplémentaire semble être propre à la racine (1), elle fait défaut dans la tigelle, ce qui s'accorde pleinement avec la rapidité avec laquelle la couche rhizogène perd ses caractères dans cet organe. Nous ne l'avons jamais vu disparaître aussi complètement devant le liber que chez les Corolliflores ; en outre, elle double souvent le nombre de ses éléments dans les rayons médullaires tout en restant simple, et devient alors fort difficile à distinguer du tissu conjonctif interne

(1) Je me suis assuré qu'elle ne provient pas de la subdivision du péricambium, elle existe près du point végétatif de la racine.

Le cylindre cortical du *Phlomis* est typique ; la membrane épidermoïdale est bien caractérisée ; les deux faisceaux vasculaires que présente le cylindre central ne sont pas réunis au centre.

Le changement d'épiderme et la disparition de sa couche de remplacement ne concordent avec aucune modification dans la partie centrale. Il faut remonter 2 centimètres au delà pour voir le liber s'accroître d'une façon notable et le report des trachées primitives vers l'intérieur. Près du troisième centimètre, les faisceaux vasculaires sont pénétrés par le tissu conjonctif, *mais par leur face externe*, cas fort rare, et séparés en deux masses centripètes parallèles. Celles-ci sont repoussées contre le liber et se rétractant peu à peu, de lamelleuses deviennent cunéiformes et prennent l'orientation sécantielle. Cette disposition ne s'observe que vers le quatrième centimètre et demi au-dessus de la base de la tigelle, et correspond à la division des faisceaux libériens en deux masses. Les faisceaux libéro-ligneux conservent l'orientation caractéristique de la tigelle jusqu'à la naissance des cotylédons ; là, les faisceaux libériens s'unissent de nouveau pendant un moment, puis forment, par leur segmentation, les trois faisceaux indispensables. En se rendant dans les cotylédons, l'orientation des faisceaux libéro-ligneux se rapproche de la radiale ; ils restent légèrement inclinés. Au sommet de la tigelle l'endoderme a perdu tous ses caractères ; privé de granules amylacés, il est très difficile à différencier des tissus voisins. Le péricambium disparaît totalement devant le milieu des faisceaux. Le cylindre central s'accroît d'une façon notable par élargissement de la moelle. Sa puissance, qui n'égale que le 1/5 du rayon de la racine, atteint les 2/3 près des cotylédons.

Le passage est localisé dans la tigelle et comprend toute l'étendue de cet organe.

Galeopsis ladanum. — Les états transitoires sont peu différents chez le *Galeopsis* et le *Phlomis*. Nous pourrons être brefs. La plantule a des dimensions un peu au-dessous de la moyenne. Sa racine ne mesure que 1 centimètre ; elle grossit

progressivement pour atteindre le diamètre de la tigelle, aussi ne trouve-t-on point de nodosité à sa partie supérieure, ni ce développement rapide sur un court espace que nous avons rencontré si souvent. La longueur de la tigelle est de 2 centimètres. La racine a la même structure que celle du Phlomis, mais ses faisceaux vasculaires s'unissent au centre.

Les trachées primitives sont repoussées vers l'intérieur dès le changement d'épiderme; 2^{m},5 plus haut, elles ont atteint la face interne du liber. Entre ce point et le premier centimètre, les changements sont nombreux : la couche protectrice perd ses stigmates, en revanche elle acquiert de nombreux granules amylacés; le péricambium disparaît en face des faisceaux libériens; les faisceaux vasculaires s'isolent et le tissu conjonctif, s'étendant entre leurs éléments, les disjoint. Plus haut, les faisceaux libériens se coupent en deux masses qui se rapprochent des faisceaux vasculaires et se superposent à eux. Ceux-ci, étalés jusque-là, se ramassent et prennent l'orientation sécantielle qu'ils conservent jusqu'à la naissance des cotylédons où ils se rapprochent de l'orientation radiale sans y atteindre. Le cylindre central, qui n'occupe que le quart du diamètre de la racine, en forme la moitié lorsque la moelle a pris toute son amplitude. Le collet comprend la tigelle entière sans réalisation de la structure de la tige.

La figure 55, pl. 18 représente l'endoderme du *Galeopsis* et les parties voisines. Elle est destinée à montrer la formation du cambium de la tigelle en face des faisceaux vasculaires. On peut voir qu'il ne se produit pas aux dépens du péricambium, comme le veulent les idées ayant cours actuellement, mais des cellules sous-jacentes. Il me paraît certain que cette membrane perd cette propriété de donner naissance au cambium aussitôt après la séparation de la trachée primitive; ce dernier résulte de la division des cellules interposées. Ce fait doit être général; une étude nouvelle de la genèse du cambium de la tige hors des faisceaux procambiaux me semble nécessaire. Les figures 38 et 39, prises chez l'*Acer campestre*, montrent qu'il en est bien dans cette plante comme chez le *Galeopsis*

même, dans cet exemple, le méristème secondaire se développe beaucoup plus profondément que dans le cas présent.

Primulacées. — *Primula auricula.* Plantule de peu de hauteur et de volume au-dessous de la moyenne. Sa longueur est de 3 centimètres, sur lesquels la racine n'occupe que 6 millimètres. Le passage entre la radicule et la tigelle se fait sans transition brusque dans le diamètre. La racine est des plus normales, elle présente une m. épidermoïdale bien nette se distinguant des cellules voisines, non seulement par la forme de ses éléments et la constitution de leur paroi, mais aussi par le manque absolu de grains d'amidon dans leur intérieur. L'endoderme est composé de cellules tabulaires épaissies sur toutes leurs faces, mais ne présentant pas les ponctuations spéciales. Le cylindre central est fort étroit et ne représente que le 1/6me du diamètre; il appartient au type binaire, les faisceaux vasculaires sont réunis au centre.

La m. épidermoïdale ne modifie pas la forme de ses cellules immédiatement après le changement d'épiderme; il faut remonter assez haut pour les voir s'arrondir. Les trachées quittent le péricambium 2 millimètres au-dessus de la base de la racine, elles n'atteignent la hauteur de la face interne du liber qu'au septième millimètre. La moelle apparaît vers le premier centimètre, elle isole les faisceaux vasculaires, puis, s'introduisant au milieu d'eux, les coupe en V, sépare ensuite les branches et les refoule contre le liber, tout en leur conservant l'orientation centripète. Ces faits demandent 6 millimètres pour se produire. 2 millimètres plus haut, les faisceaux rassemblent leurs éléments en une masse cunéiforme et prennent (vers le 2me centimètre) l'orientation selon la sécante qu'ils conservent jusqu'au sommet de la tigelle. Pendant que ces transformations s'opéraient, les cellules protectrices arrondissaient leurs angles, devenaient elliptiques; elles conservent leur paroi épaisse jusqu'à la naissance des cotylédons. Le péricambium change peu, sauf dans les points qui correspondront au milieu des faisceaux libéro-ligneux, points où ses cellules diminuent peu à peu de volume, puis finissent par

disparaître. Les faisceaux libériens donnent naissance du premier coup aux trois masses obligatoires, mais leur division n'a lieu qu'au sommet de la tigelle. La moelle reste fort étroite, aussi la puissance du cylindre central reste-t-elle très faible; il ne forme que le cinquième du diamètre à la naissance des cotylédons. Les faisceaux libéro-ligneux pénètrent dans les organes avec l'orientation sécantielle.

Les limites du collet sont toujours celles de la tigelle.

La figure 56, pl. 18, reproduit chez le *Primula auricula* la naissance du cambium dans le rayon médullaire qui a pris la place des faisceaux vasculaires de la racine. Elle montre que dans ce point le méristème secondaire ne se forme pas plus que chez le *Galeopsis* et l'*Acer* aux dépens de la couche rhizogène ; il provient de la couche sous-jacente, ce qui vient donner un nouveau poids à ce que j'avançais plus haut.

Plantaginées. — *Plantago major*. Plantule très petite mesurant 22 millimètres. La racine, longue de 7 millimètres, grêle sur la plus grande partie de son parcours, se renfle assez rapidement au-dessous de la partie lisse pour former supérieurement un petit cône très ouvert. Sa structure est tout à fait normale. Le cylindre central est fort étroit, il présente le type binaire; les faisceaux vasculaires, réduits à deux ou trois trachées, ne se réunissent pas au centre. Le péricambium est formé d'une seule assise de cellules.

Le changement d'épiderme amène la disparition de la membrane épidermoïdale, et l'apparition du tissu conjonctif entre le péricambium et l'extrémité externe des faisceaux vasculaires. Cette interposition est peu active, car jusqu'au milieu de la tigelle, elle disparaît et reparaît plusieurs fois. Pendant ce parcours, les éléments du cylindre central augmentent en nombre et les faisceaux vasculaires, au point où nous en sommes restés, ne sont plus séparés que par une seule assise de cellules. Ce n'est qu'un peu plus haut que les trachées quittent définitivement la couche rhizogène et sont repoussées vers l'intérieur; elles n'atteignent la hauteur de la face interne du liber que vers le douzième millimètre. Là, chaque faisceau

libérien se coupe en deux masses qui se rapprochent des faisceaux vasculaires. Plus haut, le tissu conjonctif se développe considérablement entre les fragments des faisceaux libériens et donne au cylindre central la forme elliptique. Il pénètre les faisceaux vasculaires et les fend en V. Les branches de ce V s'opposent au liber et la trachée primitive, qui en formait la pointe, venant se placer au milieu d'elles, donne naissance à deux faisceaux libéro-ligneux orientés selon la sécante. Il est bon d'ajouter que chaque faisceau ligneux ne comprend que deux trachées qui lui appartiennent en propre et la trachée primitive qui forme l'extrémité interne du faisceau et qui est commune aux deux faisceaux opposés. Ceux-ci conservent cette disposition jusqu'à la naissance des cotylédons, là ils se confondent totalement en un faisceau médian et radial.

L'endoderme change complètement de caractère dans son parcours de la tigelle. Dès le milieu de cet organe, ses cellules arrondies ne sont plus caractérisées que par leur position et leur contenu amylacé. Le péricambium disparaît en face des faisceaux libériens.

Le passage est encore localisé dans la tigelle.

Nyctagynées.—*Mirabilis jalapa*. Plantule très développée, présentant un pivot court, volumineux, fortement conique, souvent incliné sur la direction de la tige par la formation d'un talon. Cette courbure rend l'étude difficile, le passage s'effectuant en grande partie dans la portion épaisse de la racine. Le point de jonction des deux organes est semblable à celui du Potiron et du Melon : la tigelle, beaucoup plus large que la radicule, la dépasse de tous côtés; il semble y avoir là une limite bien tranchée que l'anatomie ne confirme pas.

Le pivot porte de nombreuses radicelles disposées sur deux rangs opposés dans la partie grêle, sur quatre rangs opposés deux à deux dans la partie renflée. Cette disposition des radicelles correspond à un changement fort curieux dans la structure de la racine, changement nouveau pour nous.

Au-dessous du renflement, nous trouvons une racine normale présentant le type binaire (fig. 57, pl. 18). Les fais-

ceaux vasculaires unisériés se réunissent au centre. Dès la base du renflement, cette disposition s'altère et l'on passe du type deux au type quatre. Pour cela le nombre des éléments vasculaires s'accroît considérablement au centre. Les vaisseaux de nouvelle origine forment d'abord une masse centrale arrondie (fig. 58), ils se disposent ensuite perpendiculairement à la lame vasculaire, et par un accroissement continu finissent par atteindre la face interne des faisceaux libériens, ceux-ci se coupant pour leur faire place, ils parviennent jusqu'à la couche rhizogène. La production s'arrête alors. Les vaisseaux de nouvelle formation étant de plus en plus étroits au fur et à mesure qu'ils se rapprochent de la couche rhizogène, ce sont de véritables faisceaux vasculaires radicaux qui prennent naissance.

Ils ne sont pas achevés que déjà les modifications transitoires se font sentir. La moelle se fait jour au milieu de la masse vasculaire médiane; s'accroissant rapidement, elle sépare les différents faisceaux (fig. 59). Elle s'introduit ensuite au milieu d'eux, les coupe d'abord en un Y (fig. 60), dont les trachées primitives, toujours appuyées contre le péricambium, forment la branche verticale. Les branches inclinées s'isolent et sont très rapidement repoussées contre le liber le plus proche. Chaque faisceau libérien, qui est peu étendu en raison même de son origine, est totalement recouvert par les deux masses vasculaires qui viennent se superposer à lui; aussi le tout se confond-il en un faisceau radial ayant tous les caractères des faisceaux libéro-ligneux de la tige (fig. 61). Tout ceci se passe très rapidement et avant le changement d'épiderme. On pourrait croire que la portion vasculaire des faisceaux libéro-ligneux est de nature secondaire, et que ces éléments confondus avec les faisceaux primaires, lorsque la moelle n'existait pas, se sont isolés après l'apparition de celle-ci. Il n'en est rien, ces faisceaux formeront le système conducteur entier des cotylédons. En effet, les vaisseaux les plus étroits, qui ne se sont pas isolés autrement que leurs similaires chez le *Raphanus niger*, le *Datura stramonium*, auront une toute autre destinée que chez ces végétaux, pas un seul ne pénétrera dans

les cotylédons. Ils ne jouent aucun rôle sur l'orientation des faisceaux voisins, puisque nous voyons ceux-ci prendre la disposition radiale de la façon la plus rapide et sans que les trachées primitives changent de position. Les faisceaux vasculaires centripètes pénètrent dans la tigelle; là, ils s'avancent un peu dans le tissu conjonctif interne, mais ils perdent en même temps leurs éléments un à un. Le mouvement de disparition est fort lent, la dernière trachée ne disparaît que 5 centimètres au delà du pivot. Sa place est longtemps encore marquée par une petite lacune dont on pourrait attribuer l'origine à une résorption des derniers éléments.

La disparition de la dernière trachée marque la limite supérieure du collet chez le *Mirabilis*. Le passage demande plus de 6 centimètres pour s'opérer, puisqu'il commence dans le sommet de la racine. La tigelle se continue encore 2 centimètres au delà avec tous les caractères de la tige.

Le départ des faisceaux cotylédonnaires est tout particulier et mérite d'être rapporté. Les faisceaux libéro-ligneux, après être restés simples pendant près de 5 centimètres, se trifurquent pour donner naissance, en leur milieu, au système conducteur du premier entre-nœud. Plus haut, ils subissent encore de nouvelles divisions, puis des anastomes, puis des divisions : faits de médiocre intérêt. Mais lorsque les feuilles séminales vont se séparer, ces faisceaux se divisent en deux groupes; contrairement à ce que l'on observe d'ordinaire, les faisceaux du premier entre-nœud restent à la périphérie du cylindre central; les faisceaux cotylédonnaires s'avancent dans la moelle, y subissent de nouvelles subdivisions, puis seulement alors se rendent à destination en écartant les faisceaux de la périphérie et en sortant tous par deux points opposés.

Le liber suit toutes les segmentations des faisceaux; l'endoderme et le péricambium arrondissent totalement leurs cellules. Les gros grains d'amidon réfringent sont d'une grande utilité pour différencier la première membrane au sommet de la tigelle. La seconde reste continue, mais double le nombre de ses cellules en face des faisceaux libériens, elle y perd de

son amplitude. Le rapport des deux cylindres, qui est de 1/2 dans la racine, est supérieur à 1/1 dans la tigelle.

AMARANTACÉES. — La petite graine de l'*Amarantus paniculatus* donne naissance à une plantule assez longue si l'on tient compte de son diamètre. Elle mesure 3 centimètres dont les cinq sixièmes constituent la tigelle.

La radicule est longuement conique, elle acquiert insensiblement le diamètre de la tigelle. Sa structure est normale; elle présente le type binaire; les faisceaux vasculaires sont réunis au centre.

Le cylindre central ne subit de modifications que dans la partie tout à fait terminale de la tigelle; la première altération du type radical ne s'observe que 2 centimètres au-dessus du changement d'épiderme. Là, apparaît la moelle qui disjoint les faisceaux vasculaires; les éléments libériens augmentent d'une façon notable, et chaque faisceau se divise en deux parties égales. La couche protectrice prend des cellules arrondies reconnaissables à leurs grains d'amidon réfringent. Le péricambium disparaît en face des faisceaux libériens. A 1 millimètre au-dessous des cotylédons, le tissu conjonctif central se développe entre les fragments libériens, les repousse vers les faisceaux vasculaires et donne au cylindre central une figure elliptique. Il repousse les faisceaux vasculaires (qui ont tout simplement augmenté le nombre de leurs éléments) contre le péricambium, entame leur face interne, leur donne d'abord l'aspect d'un Y, puis celui d'un T. En ce moment, les faisceaux libériens sont si proches, le cylindre central tellement étroit, que les extrémités de la branche horizontale se trouvent en contact du tissu conducteur de la sève descendante. C'est alors que s'opère le départ des faisceaux pour les cotylédons. Dans le mouvement oblique, la trachée primitive quitte la couche rhizogène et se reporte vers l'intérieur. Le faisceau vasculaire semble s'écraser et se superpose entièrement au liber, donnant naissance à deux faisceaux libéro-ligneux, orientés selon la sécante. Cette disposition ne s'observe que dans les cotylédons. Le volume du cylindre central reste fort

étroit formant le 1/5 du diamètre de la racine, il ne constitue que le 1/4 de celui de la tigelle, là est l'explication du peu de rapidité du passage.

Le collet a les mêmes limites que la tigelle.

Chénopodées. — *Atriplex hastata.* — Plantule grêle de 8 centimètres de longueur.

La racine mesure 1 centimètre seulement; longuement conique, elle fait directement suite à la tigelle. Sa structure à l'état primaire est normale; elle possède une membrane épidermoïdale bien caractérisée (pl. 17, fig. 62), deux faisceaux ligneux réunis au centre. Le végétal étudié présentait déjà deux petites feuilles, mais les formations secondaires n'empêchaient pas l'étude. Avec le changement d'épiderme la membrane épidermoïdale disparaît et est remplacée par une assise de cellules arrondies (fig. 63, pl. 17).

Ce qui est plus intéressant : la couche rhizogène entre en voie très active de division (la division pouvait s'observer aussi dans la partie tout à fait supérieure du pivot) et mérite bien alors son nom de péricambium; mais ce fait ne vient en rien contredire ce que j'avançais plus haut, touchant la production du cambium de la tige; la couche génératrice péricambiale reste complètement indépendante du cambium qui se développe à la face interne du liber lorsque la trachée primitive a quitté la couche rhizogène. Celle-ci ne perd pas avec le changement d'épiderme la propriété de former un parenchyme cortical secondaire et une zone subéreuse; son pouvoir va seulement en s'affaiblissant à partir de ce point. Les trachées primitives se reportent ensuite vers le centre et sont séparées bientôt du péricambium par une, puis deux, puis trois cellules conjonctives. Les faisceaux libériens tendent à se diviser en deux masses inégales, mais le travail de segmentation, fort lent, ne s'achève dans les deux faisceaux que vers le deuxième centimètre. Les fragments se dirigent vers les faisceaux vasculaires de façon à en recouvrir les faces latérales. La moelle apparaît alors; se développant en continuité des rayons parenchymateux qui ont divisé le liber, elle partage le cylindre cen-

tral en deux portions symétriques. Les faisceaux vasculaires conservent leur disposition centrifuge jusqu'au troisième centimètre. Là ils s'écrasent sur eux-mêmes comme les faisceaux que nous avons représentés chez le *Fumaria* dans la figure 9. Ce mouvement se continuant, ils forment, vers le cinquième centimètre, une lame perpendiculaire à la direction des faisceaux vasculaires radicaux. Les éléments les plus larges qui siègent aux extrémités de la lame s'appuient contre les 1/2 faisceaux libériens voisins; le centre est occupé par les trachées. En somme, l'ensemble constitue deux faisceaux libéro-ligneux orientés selon la sécante et confondus par leur extrémité interne. En ce lieu, la couche rhizogène n'est en voie de division qu'en face des rayons parenchymateux; plus haut, elle redevient simple en tous ses points, ce qui s'explique par la jeunesse de la partie que nous étudions maintenant. Les cellules opposées au liber sont plus étroites que les autres.

Les faisceaux libéro-ligneux conservent à très peu de chose près l'orientation sécantielle; dans les cotylédons, ils sont encore inclinés de 45° sur le rayon. Ils se divisent dans le dernier centimètre pour donner naissance au système conducteur du premier entre-nœud; les faisceaux qui se forment ainsi sont radiaux.

L'endoderme se comporte toujours de la même façon; le cylindre central qui ne recouvrait que le 1/4 du rayon dans la racine en constitue les 2/5 au sommet de la tigelle.

Le collet est compris dans ses limites les plus habituelles; celles de la tigelle.

Phytolaccacées. — La graine du *Phytolacca decandra* donne naissance à une plantule de petit diamètre de 6 centimètres de longueur. La racine conique mesure 2 centimètres 1/2; elle possède, à son sommet, le diamètre de la tigelle. Ce second organe mesure 3 cent. 8 millim.

La racine primaire est normale, elle présente le type deux; ses faisceaux vasculaires sont réunis au centre; dans sa partie supérieure, la plus âgée, la membrane rhizogène se comporte comme celle de l'*Atriplex* et se transforme en tissu générateur

sur toute son étendue : elle conserve ce facies sur la plus grande partie du parcours de la tigelle. Dans la partie terminale de cet organe, elle redevient simple et demeure presque continue ; une ou deux de ses cellules disparaissent devant le milieu de quelques faisceaux libériens seulement.

Le cylindre central se modifie peu jusqu'au deuxième centimètre après le changement d'épiderme; on observe pourtant dans ce trajet : 1° l'interposition du tissu conjonctif entre la couche rhizogène et les trachées primitives, mais cette interposition est peu active et se réduit à une ou deux cellules au plus; 2° l'apparition de la moelle. Plus haut, les faisceaux vasculaires repoussés vers l'extérieur par la multiplication du tissu conjonctif central s'écrasent par leur face interne et prennent l'aspect d'un T. La moelle pénètre ensuite au milieu des vaisseaux, les dissocie complètement et transforme le T en un V. Les extrémités externes des branches sont repoussées contre les faisceaux libériens voisins ; mais la trachée primitive reste fixée près du péricambium, le bois conserve sa disposition centripète, légèrement inclinée jusque dans les cotylédons. Là seulement elle gagne vers l'intérieur, mais pas suffisamment pourtant pour donner aux faisceaux l'orientation sécantielle. Les faisceaux libériens ne se divisent qu'à 3 millimètres des cotylédons. L'endoderme ne perd ses stigmates que vers le milieu de la tigelle. L'augmentation du diamètre du cylindre central est trop peu sensible pour être rapportée.

Le *Phytolacca decandra* ne présentera la structure de la tige qu'au delà des cotylédons. Au-dessous, le cylindre central reste beaucoup plus étroit que le cylindre cortical, le bois conserve à très peu près l'orientation centripète.

Polygonées. — L'embryon développé du *Rheum compactum* possède un volume moyen. Les cotylédons, longuement connivents, donnent extérieurement à la tigelle une étendue qu'elle est loin de posséder. La radicule mesure 22 millimètres, la tigelle 14, bien qu'elle en paraisse 20. La jonction des deux organes ne donne lieu à aucune modification dans le diamètre de l'axe. La racine est normale; elle présente le type

quatre. Les faisceaux vasculaires unisériés sont réunis au centre par deux larges vaisseaux réticulés, communs.

Avec le changement d'épiderme, la forme du cylindre central se modifie : arrondi dans le pivot, il prend l'aspect d'un prisme à quatre faces dont les angles sont occupés par les faisceaux libériens. La moelle apparaît presque aussitôt après et disjoint les faisceaux vasculaires. Les trachées primitives quittent la couche rhizogène et les faisceaux vasculaires s'avancent vers l'intérieur. Poussés d'un côté, comprimés de l'autre, les faisceaux, d'abord linéaires, groupent leurs éléments en amas cunéiformes bientôt pénétrés longitudinalement et fendus en V par la pénétration de la moelle. Les parties profondes s'appliquent contre le liber; le mouvement s'arrête alors; les trachées primitives restent stationnaires et la disposition en V se conserve dans l'espace d'un demi-centimètre. Il ne reprend que vers le huitième millimètre : les trachées s'enfoncent, les demi-faisceaux vasculaires s'opposent complètement au liber et prennent l'orientation sécantielle. Le liber opposé se sépare alors et la tigelle présente huit faisceaux libéro-ligneux. Chacune de ces masses tourne ensuite légèrement sur elle-même et se rapproche de l'orientation radiale; en même temps les deux faisceaux, qui tirent leur origine de la même lame vasculaire radicale, s'avancent l'un vers l'autre, se mettent en contact et se confondent en un seul faisceau nettement radial. La tigelle ne présente plus que quatre faisceaux, mais possède les caractères de la tige. C'est alors que naissent les cotylédons; deux faisceaux en forment les nervures médianes, les autres, se divisant, se rendent mi-partie dans l'un de ces appendices, mi-partie dans l'autre pour en constituer les nervures latérales.

L'endoderme s'est transformé peu à peu en assise amylifère. La couche rhizogène, assez persistante, ne perd qu'une ou deux cellules en face des faisceaux libéro-ligneux et encore pas de tous.

Le collet est toujours compris dans les limites de la tigelle, mais la structure de la tige ne s'observe qu'au-dessus du premier nœud.

Euphorbiacées. — Le *Ricinus communis* se rattache à ce type du Haricot, du *Mirabilis*, dans lequel le pivot grêle et presque cylindrique dans sa partie terminale se renfle brusquement et devient fortement conique à sa base. Nous savons déjà qu'à de tels caractères extérieurs correspondent des phénomènes transitoires fort rapides et prématurés pour ainsi dire. Le ricin se distinguera entre tous les végétaux par la rapidité de ses mouvements. Le cylindre central a déjà pris le facies qu'on lui connaît dans la tige, que l'appareil tégumentaire ne s'est pas modifié. Le cylindre cortical, chose extraordinairement rare, se trouve ici en retard sur le cylindre central.

La racine prise au-dessous du renflement n'est pas normale.

L'endoderme est mal caractérisé (il l'est mieux dans la tigelle, à l'état d'assise amylifère) ; le péricambium simple en face des faisceaux libériens forme de véritables massifs entre eux. Le nombre des faisceaux vasculaires est variable. Sur dix sujets étudiés, cinq présentaient le type quatre ; deux le type cinq ; deux le type sept ; un le type huit. Malgré cela, la tigelle ne possède jamais que huit faisceaux libéro-ligneux ; nous verrons plus loin comment s'établit cette concordance d'une façon très simple. Les faisceaux sont toujours séparés par une moelle des plus amples.

Cette moelle profite seule du renflement de l'axe ; elle permet facilement le mouvement des faisceaux, ce qui rend compte de la rapidité du passage. Le cylindre cortical multiplie ses cellules tangentiellement pour se prêter à l'augmentation des parties sous-jacentes. Les modifications portent d'abord sur les faisceaux vasculaires qui se comportent dans les premiers temps comme ceux du Haricot et de l'*Acer*. Ils quittent la zone rhizogène et s'enfoncent dans la moelle, mais au fur et à mesure que leurs éléments atteignent cet organe ils ont repoussés latéralement et s'adossent au liber. Chaque faisceau a bientôt pris une direction perpendiculaire à celle qu'il possédait dans la racine et constitue une lame vasculaire qui réunit, comme un pont, les deux masses libériennes voisines. Les trachées primitives en occupent le milieu, et il n'est

pas difficile de reconnaître dans cette lame deux faisceaux ligneux sécantiels réunis par leurs extrémités les plus âgées. Le tissu conjonctif qui a pris la place des faisceaux vasculaires radicaux devient cambial aussitôt après son apparition et se met en continuité avec le cambium intralibérien. Il ne peut encore être question ici de cambium se développant aux dépens de la couche rhizogène.

La dilatation de l'axe exige alors l'accroissement latéral correspondant du tissu conjonctif interposé entre les faisceaux libériens. Les ponts vasculaires se fendent en leur milieu. Les deux moitiés isolées de l'arche tournent alors sur les piles comme centres et s'avancent dans la moelle où elles font d'abord saillie latérale, puis se mettent, plus tard, dans le prolongement du rayon. Nous avons bien là ce mouvement de volet qu'on a regardé jusqu'à présent comme général et qui cependant est moins fréquent encore que l'isolement de la trachée primitive. Il faut pour qu'il s'opère de larges rayons parenchymateux, une vaste moelle, ce qui ne se présente que dans les plantules extraordinairement volumineuses, celles du Ricin, du Haricot par exemple. Lorsque l'on cherchera à généraliser, on fera bien de changer la description du mode de renversement du bois, trop facilement et trop peu heureusement rendu par ce mouvement de volet fort rare et qui ne correspond jamais, quand il se présente, qu'à la dernière phase du renversement : le passage de l'orientation sécantielle à la disposition radiale.

Jusque-là les faisceaux libériens n'ont pas changé d'aspect; leur rôle ne commence qu'après l'entière superposition des faisceaux vasculaires. Chacun en a reçu deux. Mais la façon dont ils vont se comporter est très différente et est liée intimement au nombre des faisceaux vasculaires radicaux. La tigelle, avons-nous dit, ne possède jamais que huit faisceaux libéro-ligneux. Dans le cas de quatre faisceaux vasculaires radicaux, chaque masse libérienne se coupera entre les deux faisceaux ligneux qu'elle porte à ses extrémités, les huit faisceaux obligatoires apparaîtront. Avec le type cinq, deux fais-

ceaux libériens se contractent sur eux-mêmes et amènent la fusion des masses vasculaires opposées, trois subissent la segmentation précédente ; avec sept faisceaux radicaux, un seul se divise, les autres se contractent; enfin la racine présente-t-elle le type huit, aucun des faisceaux libériens ne se divise, tous se contractent.

Ce n'est qu'après cette formation que se fait le changement d'épiderme. Le péricambium forme alors une assise continue, l'endoderme ne s'est pas encore transformée en assise amylifère. Le collet est entièrement localisé dans le renflement radical, la tigelle présente dès sa base la structure de la tige.

Urticées. — *Urtica dioica.* — La plantule est assez développée en longueur (6 centimètres), mais son diamètre reste faible. La racine, d'abord très grêle, grossit peu à peu sur toute l'étendue de son parcours (2 centimètres) pour se mettre en concordance avec la tigelle. Sa structure est normale et présente le type binaire ; les faisceaux vasculaires se réunissent au centre. Dans l'échantillon étudié, le péricambium était en état de segmentation en tous ses points. Il se comporte du reste comme celui de l'*Atriplex.*

Entre le changement d'épiderme et le troisième centimètre au delà, nous n'observons d'autres modifications dans le cylindre central que le report vers l'intérieur des trachées primitives, report qui oblige les éléments vasculaires, disposés en lames plus bas, à se grouper en amas cunéiformes. En même temps, la segmentation du péricambium cesse d'abord en face des faisceaux libériens, puis totalement en partant de ces points et en s'avançant vers les faisceaux vasculaires. Redevenu simple, il perd complètement ses éléments en face des faisceaux libériens. La moelle apparaît à 1 centimètre des cotylédons ; elle n'isole pas les faisceaux vasculaires, mais s'étendant longitudinalement au milieu d'eux, elle coupe l'ensemble en deux masses linéaires parallèles qui s'appliquent contre le liber le plus rapproché. J'ai représenté ce phénomène dans la figure 48 pl. 18, chez le *Dipsacus laciniatus.* Cette disposition se conserve jusqu'à 1 millimètre des cotylédons. Là les fais-

libériens donnent naissance aux trois faisceaux obligatoires; chacun entraîne la masse vasculaire opposée. Les faisceaux vasculaires médians restent étalés; ceux des extrémités rassemblent leurs éléments en un amas cunéiforme sécantiel, et ainsi se forment ces faisceaux particuliers à la tigelle que nous avons si souvent rencontrés. Cette orientation se perpétue jusque dans les cotylédons. Les faisceaux libéro-ligneux médians, en passant dans le premier entre nœud, se divisent et les fragments prennent immédiatement le caractère des faisceaux de la tige. L'insertion des cotylédons marque donc bien la limite supérieure du collet de l'Ortie, collet qui s'étend sur toute la longueur de la tigelle.

Morées. — *Morus niger.* — Plantule de 6 centimètres, dont 2 cent. 5 millim. sont recouverts par l'assise pilifère. Volume peu considérable. La jonction de la tigelle et de la radicule se fait selon le mode le plus ordinaire. La racine est normale, elle présente le type binaire, les faisceaux vasculaires ne s'unissent pas au centre.

Les transformations commencent dans le cylindre central peu au delà du changement d'épiderme. A 2 millimètres de ce point la moelle a déjà pris un accroissement considérable, les faisceaux libériens se coupent en deux masses qui s'avancent vers les faisceaux vasculaires. Sur le parcours des 2 centimètres suivants la couche protectrice passe à l'état d'assise amylifère et la membrane rhizogène se confond avec le parenchyme voisin. Le renversement des faisceaux vasculaires ne commence qu'à 1 centimètre 1/2 des cotylédons; leurs éléments augmentent alors dans la proportion de 2 à 3 et sont repoussés vers l'extérieur; disposés plus bas en lame, ils se rangent en coin et se préparent à la division. La moelle pénètre au milieu, les fend en V; elle s'introduit aussi entre les vaisseaux, les dissocie et repousse les plus profonds vers le liber. Mais les trachées primitives ne quittent la couche rhizogène qu'à 5 millimètres des cotylédons et jusque-là l'orientation des demi-faisceaux vasculaires reste centripète; en s'avançant dans la moelle, elles donnent aux faisceaux, après s'y être joint,

l'orientation sécantielle qu'ils conservent, à peu de chose près, jusqu'à la naissance des cotylédons.

Le système conducteur du premier entre-nœud fait son apparition un demi-centimètre au-dessous des cotylédons; il naît des deux demi-faisceaux libériens qui se divisent et envoient de petits rameaux l'un vers l'autre. Ces rameaux s'unissent en un unique faisceau radial.

Comme, dans le cas le plus général, le collet et la tigelle du *Morus niger* se confondent.

Cannabinées. — *Cannabis sativa.* — Longue plantule de 11 centimètres et de volume moyen. La racine, qui est grêle dans sa partie terminale, croît assez rapidement en diamètre dans sa partie basilaire pour se mettre en concordance avec la tigelle; elle ne mesure que 1 centimètre, présente le type binaire; ses faisceaux vasculaires ne s'unissent pas au centre. La membrane rhizogène est formée de deux rangs de cellules en face des faisceaux libériens, de trois rangs au moins devant les faisceaux ligneux.

En même temps que l'appareil tégumentaire se transforme, la moelle s'agrandit et le tissu conjonctif sépare les trachées primitives de la membrane rhizogène. Vers le premier centimètre les faisceaux vasculaires, comprimés par cette production d'éléments nouveaux, ont pris la disposition en coin; les trachées primitives ont atteint la face interne des faisceaux libériens. Entre le premier et le troisième centimètre, l'accroissement de la moelle continuant, la face profonde des faisceaux vasculaires s'écrase, s'étale pour mieux dire; le coin se transforme en T. Pendant ce temps les faisceaux libériens, tout en restant indivis, reportent la plus grande partie de leurs éléments vers leurs extrémités qui s'avancent vers les faisceaux vasculaires. Dans le centimètre suivant, les faisceaux vasculaires comprenant un plus grand nombre de vaisseaux que précédemment sont fendus en V, puis séparés totalement en deux faisceaux allongés par introduction du tissu conjonctif entre les trachées primitives. Les bandes vasculaires sont repoussées latéralement contre le liber et conservent pendant

quelque temps encore l'orientation centrifuge. Chaque bande se fend ensuite en deux masses inégales : la plus éloignée des trachées primitives s'avance peu à peu vers le milieu des faisceaux libériens; elle y rencontre son homologue, s'y unit pour constituer un faisceau centrifuge, premier rudiment du système conducteur du premier entrenœud. Les parties externes des faisceaux vasculaires se concentrent sur elles-mêmes entre le sixième et le neuvième centimètre; les trachées primitives viennent se placer à la face interne de ces masses et leur donnent l'orientation sécantielle. Les faisceaux libériens ne se divisent qu'à 1 centimètre des cotylédons; ils se coupent en trois masses correspondant aux trois faisceaux vasculaires opposés.

Dans le dernier centimètre, les faisceaux libéro-ligneux tournent sur eux-mêmes, et lors de la séparation des cotylédons ils réalisent presque l'orientation radiale. Ils la prennent à la base de ces organes. En y pénétrant ils se divisent pour former les nervures latérales. Les faisceaux du premier entrenœud se divisent également en quittant la tigelle.

La couche protectrice modifie peu la forme de ses cellules, elles restent polygonales, n'acquièrent pas d'amidon, mais perdent leurs stigmates. La couche rhizogène redevient simple d'abord, puis diminue d'une façon tellement considérable le diamètre de ses cellules opposées aux faisceaux libériens, qu'elles se confondent entièrement avec ces éléments; elles restent fort visibles dans les régions intermédiaires.

Le cylindre central s'accroît d'une façon notable; il ne formait que le sixième du rayon dans la racine, près des cotylédons il en constitue près de la moitié. A cet agrandissement de la moelle correspond, avons nous vu, la réalisation de la structure de la tige dans l'axe hypocotylé; bien que les phénomènes de passage occupent encore toute l'étendue de la tigelle.

Amentacées. — *Castanea vesca.* — Les châtaigniers que nous avons étudiés avaient dépassé l'âge primaire et présentaient déjà deux petites feuilles bien développées. Nous n'avons

pas eu à nous plaindre des difficultés qu'amenaient quelques éléments secondaires, car, pris dans cet état, ce végétal nous a permis de vérifier une fois de plus la série complète des transformations de la couche rhizogène et des modifications qu'elle subit dans son pouvoir générateur en passant de la racine dans la tige. J'ai montré sur l'*Acer campestre*, le *Primula auricula*, le *Galeopsis ladanum*, que cette membrane cessait de fournir le cambium ligneux et libérien dès qu'elle était abandonnée par les trachées primitives des faisceaux vasculaires centripètes. Le Chataignier se prête également bien à cette étude. Il montre aussi ce que nous avions signalé précédemment chez l'*Atriplex hastata*, le *Phytolacca dioica*, l'Ortie, qu'elle ne perd pas du même coup la puissance de former l'écorce secondaire et la zone du suber qui amène la chute du cylindre cortical primaire, mais que ce pouvoir s'affaiblit graduellement dans la tigelle avant de disparaître. Il découle de là que le parenchyme cortical de la portion inférieure de la tigelle doit être sujet à la chute comme la partie similaire de la racine. Ce fait n'est pas sans importance pour nous et ajoute un nouvel échelon à la série des transitions que nous connaissons déjà (fig. 64, pl, 19). L'étendue de l'axe hypocotylé est d'environ 15 centimètres divisés fort inégalement entre la tigelle ($3\frac{1}{2}$ c) et la racine. Le changement d'épiderme est le seul caractère extérieur qui marque la jonction des deux organes. Le diamètre de la racine croît peu à peu sur toute sa longueur. La tigelle, loin de décroître en s'avançant vers les cotylédons, augmente de volume de telle façon que l'axe est nettement conique depuis son extrémité jusqu'à l'insertion des feuilles séminales. La structure de la racine serait normale sans la présence d'une zone rhizogène formée de deux rangs de cellules en face des faisceaux libériens, de trois et même quatre devant les faisceaux vasculaires. La membrane épidermoïdale est bien accusée. Au centre on trouve douze (1) faisceaux vasculaires

(1) Certains auteurs n'assignent que huit faisceaux à ce végétal ; je crois n'avoir point à m'étendre sur ce sujet, l'inconstance du nombre des faisceaux vasculaires.

alternant avec autant de faisceaux libériens. Ils sont isolés par la présence d'une moelle centrale assez développée.

L'ampleur de cette moelle, le volume de la plantule doivent nous faire prévoir un passage rapide ; c'est ce qui a lieu en effet. Il débute dans le cylindre central avant le changement d'épiderme. Les faisceaux se comportent comme ceux de l'*Acer campestre* (fig. 36, 37, 38, 39, 40), avec cette seule différence que les faisceaux libériens se coupent de prime abord en deux masses, et que les 24 faisceaux libéroligneux radiaux qui prennent naissance restent isolés. Le renversement des faisceaux vasculaires commence 1 centimètre au-dessous du changement d'épiderme, il s'achève 2 centimètres au-dessus. La tigelle possède la structure de la tige pendant un centimètre et demi. La moitié seulement des faisceaux passe dans les cotylédons, le reste se rend dans le premier entrenœud. L'endoderme reste fort visible jusqu'au milieu de la tigelle, plus haut il se confond avec le parenchyme voisin. La membrane rhizogène après qu'elle cesse de se diviser se comporte de même. Les deux cylindres se confondent.

Pendant le passage, le cylindre central s'accroît d'une façon sensible ; il forme les 5/6 du rayon de la tigelle.

Le collet comprend les parties basilaires de la racine et de la tigelle, il s'étend sur une longueur de 3 centimètres.

GYMNOSPERMES.

Conifères. —*Pinus sylvestris*. — Je ne décrirai que ce seul végétal de ce groupe, les phénomènes transitoires qu'il nous a présentés étant trop semblables à ceux que nous avons vus jusqu'alors pour croire que les autres Gymnospermes s'éloignent des Angiospermes.

La plantule mesure 6 centimètres qui se partagent également entre la racine et la tigelle. La jonction des deux organes se fait selon le mode le plus ordinaire. Outre que le nombre

dans les racines qui en présentent toujours plus de quatre, me semble démontrée à l'heure actuelle.

des faisceaux vasculaires est fort inconstant (on en rencontre aussi souvent trois que quatre), la structure de la racine n'est pas des plus normales. Le cylindre cortical a un diamètre très faible : au-dessous de la membrane épidermoïdale on ne trouve que quatre rangs de cellules et l'endoderme, le tout ne constituant que le tiers du rayon.

Le péricambium est formé de plusieurs assises de cellules; mais, contrairement à ce que nous observions en pareil cas, il est beaucoup plus développé en face des faisceaux libériens que des faisceaux ligneux. L'inégalité est tellement prononcée que les faisceaux vasculaires forment de véritables saillies. Les faisceaux libériens sont fort peu différenciés. Les faisceaux vasculaires ont une forme spéciale, ils sont fendus en Y dans leur partie externe, l'entre-deux des branches est comblé par un canal résineux. Une large moelle occupe le centre. Le changement d'épiderme n'apporte aucune modification dans le cylindre central et, hâtons nous de le dire, on retrouve à peu près intacte la structure du cylindre central de la racine jusqu'à 5 millimètres des cotylédons. La seule différence consiste dans le retrait des faisceaux vasculaires qui s'enfoncent dans la moelle abandonnant le canal résineux. Ils prennent la disposition lamelleuse ordinaire. Leur mouvement s'arrête lorsqu'ils sont séparés du canal par deux assises de cellules. Dans le dernier demi-centimètre les faisceaux vasculaires vont passer complètement de l'état centripète à la disposition centrifuge. Ils se comportent comme les faisceaux du *Fumaria* (fig. 9) : ils multiplient le nombre de leurs éléments, puis s'écrasent par l'interposition de nouveau tissu conjonctif entre les trachées primitives et le canal résineux et donnent naissance à deux faisceaux sécantiels. Ceux-ci s'appuient sur le liber; les faisceaux libéro-ligneux apparaissent et s'isolent par la segmentation des faisceaux libériens. Le système conducteur du premier entrenœud tire comme toujours son origine de la partie médiane du liber; les quelques petits vaisseaux qui se développent à la face interne de ce segment se produisent dans l'ordre centrifuge.

Chacun des faisceaux sécantiels tourne ensuite sur lui-même et prend l'orientation radiale; ils réalisent cette disposition un peu avant l'insertion des cotylédons. Ces faisceaux ne se réunissent pas deux à deux pour pénétrer dans les cotylédons, chacun des organes qui sont réputés quelquefois comme tels ne reçoit qu'un seul faisceau, ils ne peuvent donc être assimilés aux feuilles séminales des Dicotylédones. Comme il ne reste aucun de ces faisceaux dans la tige, le nombre variable des appendices s'explique facilement selon que la racine présente le type trois ou le type quatre.

Dans le parcours de la tigelle la couche rhizogène reste multiple. L'endoderme perd ses stigmates, reste polyédrique, acquiert des granules amylacés réfringents; mais il faut ajouter que les cellules corticales voisines se comportent de même et que le cylindre cortical se sépare mieux du cylindre central par la coloration plus sombre de la paroi de ses cellules que par tout autre caractère.

En résumé, chez le *Pinus sylvestris* les limites de la tigelle sont encore celles du *collet*.

MONOCOTYLÉDONES.

J'ai décrit plus haut la structure de la racine et de la tige des Monocotylédones. Je ne crois pas devoir la renouveler. J'entrerai simplement ici dans quelques considérations générales du plus grand intérêt pour notre sujet.

L'aspect extérieur de l'embryon développé des Monocotylédones est tout autre que celui des Dicotylédones. La plantule est acaule (le cas est rare chez les Dicotylédones) ou possède une tigelle réduite à quelques millimètres. Le passage se produit avec une rapidité si grande, que les phases se confondent; il résiste à l'analyse (1); la structure de l'axe devient indéchiffrable si l'on n'a pu arriver, non sans patience, à relever préalablement les intermédiaires sur quelques échantillons plus propices. La complication est poussée à son

(1) J'ai dû abandonner plusieurs sujets dans lesquels le passage était si rapide, qu'il devenait incompréhensible (blé, iris, etc.).

maximum lorsque des faisceaux nombreux pressés les uns contre les autres, ne trouvant déjà pas l'espace suffisant pour opérer leurs mouvements, doivent donner naissance à plusieurs rangs de faisceaux libéro-ligneux.

Lorsque la gaine existe, sa présence annihile toute la région transitoire entre l'épiderme villeux cylindrique et l'épiderme cuticularisé et en parallélipède. La gaîne est recouverte par l'épiderme de la tige, elle recouvre l'épiderme de la racine dans sa partie supérieure. Celui-ci prend naissance au milieu du parenchyme cortical de la tige, il n'y a plus de continuité entre les deux épidermes. La membrane épidermoïdale est encore plus marquée chez ces végétaux que chez les Dicotylédones, la raison en est sans doute dans la production plus tardive du suber.

Je conseillerai, pour continuer ces études, de choisir de préférence les végétaux qui produisent le moins possible de radicelles pendant les premiers temps de leur existence ; on s'épargnera des complications inutiles.

La différenciation des vaisseaux se faisant beaucoup plus tardivement que chez les Dicotylédones, il est indispensable de laisser végéter quelque temps la plante. Elle est ordinairement en état convenable lorsqu'elle a développé deux à trois feuilles au-dessus des cotylédons.

J'abandonnerai dans l'exposé des faits qui intéressent les Monocotylédones la marche que j'ai suivie jusqu'ici. Sans inconvénient précédemment, elle pourrait nous exposer à rencontrer dès le début des cas fort complexes qu'il nous serait impossible de rapporter d'une façon compréhensible. Je procéderai du simple au composé ; le sujet y gagnera de l'intérêt.

Nous étudierons d'abord des végétaux présentant le type binaire.

Alismacées. — Le *Damasonium stellatum* avec ses faisceaux si réduits, propres aux végétaux aquatiques, va nous présenter les phénomènes de passage les plus simples que nous ayons rencontrés, sans même en excepter les Cryptogames.

La plantule, telle que nous l'avons étudiée, mesurait

12 millimètres et était couronnée par un bouquet de trois petites feuilles aciculaires. La racine, très grêle, mesurait 5 millimètres ; la tigelle, plus volumineuse, 7.

La structure de la racine est fort simple. Une assise pilifère recouvrant une membrane épidermoïdale, puis toute une série de larges canaux aérifères séparés par des trabécules formés de deux longues cellules disposées bout à bout, deux rangées de cellules arrondies et la membrane protectrice. Le cylindre central (fig. 65, pl. 19) ne comprend, outre la couche rhizogène, que trois éléments : un large vaisseau central flanqué aux extrémités d'un de ses diamètres de deux petites cellules carrées qui sont les représentants du liber.

La racine conserve cette structure sur la plus grande partie de son parcours ; elle accroît tout simplement son diamètre. Dans sa partie basilaire proche de la tigelle, ses canaux aérifères diminuent peu à peu de volume et disparaissent complètement avant le changement d'épiderme.

Le cylindre central se transforme en pénétrant dans la tigelle ; l'un des éléments libériens tourne autour du vaisseau médian et va rejoindre l'autre ; le vaisseau, de médian devient latéral et s'appuie d'un côté sur le péricambium de l'autre sur le liber. Nous avons là un faisceau libéro-ligneux dans lequel le bois est opposé au liber ; le passage est achevé. La preuve en est dans la conduite des éléments du cylindre central sur le reste du parcours de la tigelle. Ce cylindre s'élargit ; ses éléments augmentent en nombre, mais leur disposition ne change pas.

Le vaisseau unique est remplacé par deux vaisseaux plus étroits ; plus haut, à ces deux éléments s'en joint un troisième, puis un quatrième (fig. 66). On observe parallèlement l'adjonction au faisceau libérien d'une nouvelle cellule, puis de deux, trois, quatre. C'est ainsi constitué que le faisceau libéro-ligneux pénètre dans les cotylédons. Il est fort intéressant de ne voir apparaître qu'un seul faisceau libéro-ligneux là où il s'en produit quatre généralement.

La gaîne n'existant pas dans ce végétal, le changement

d'épiderme se fait d'après le mode que nous avons décrit chez les Dicotylédones. Les cellules rhizogènes et protectrices conservent leurs caractères radicaux jusqu'à la naissance des cotylédons, elles disparaissent là tout à coup.

Ce passage si simple est spécial ; il tire son origine et du faible développement du végétal et de son mode de végétation.

JONCAGINÉES. — Le *Triglochin palustre*, végétal aquatique, comme l'indique son nom, possède encore une structure simple, mais plus élevée cependant que celle du *Damasonium*. La plantule est fort courte, acaule. La racine, longue de 5 millimètres, est légèrement conique. Elle se termine supérieurement par un renflement qui correspond à l'insertion du cotylédon.

La structure de la racine est normale : l'assise pilifère recouvre une membrane épidermoïdale bien caractérisée. Le cylindre central présente le type binaire. Chaque faisceau vasculaire se compose de cinq à sept trachées non pas disposées en série radiale, mais étalées en partie contre la couche rhizogène et recouvrant en partie un énorme vaisseau ponctué central et commun (fig. 67, pl. 19).

Cette structure commence à s'altérer un peu au-dessous du renflement terminal : le grand vaisseau central est remplacé par deux plus petits, mais de diamètre encore assez considérable, et les éléments vasculaires prennent une disposition rappellant mieux la disposition habituelle. A la naissance du renflement ces deux grands vaisseaux disparaissent à leur tour et sont remplacés par cinq ou six plus petits. J'appelle l'attention sur ce fait qui me semble général : les larges vaisseaux ponctués de la racine ne passent pas dans la tige, ils sont toujours remplacés dans la région transitoire par un certain nombre de vaisseaux de diamètre étroit. *La racine du Triglochin possède alors les caractères d'une racine de Dicotylédone* (fig. 68). Les éléments vasculaires et libériens de cette racine se comportent ensuite absolument comme ceux du *Fumaria grandiflora* (1), mais si rapidement, que, sur

(1) Voy. p. 314 et fig. 7, 8, 9 et 10, pl. 15.

l'espace de 1 millimètre au plus, nous passons de la structure de la racine à celle de la tige. Je n'ajouterai rien à la description de la formation des faisceaux libéro-ligneux, voulant par là appuyer sur la similitude de cette formation dans les deux embranchements. L'union des faisceaux libéro-ligneux et l'apparition des faisceaux radiaux, qui ne s'opéraient chez le *Fumaria* qu'à la naissance des cotylédons, se produisent un peu plus bas ici, de telle façon que l'axe présente la structure de la tige avant le départ du cotylédon. Un des faisceaux se rend dans cet organe, l'autre dans la première feuille.

Le cylindre central reste étroit jusqu'au renflement; là il grandit d'une façon notable, mais pour peu de temps. L'endoderme et le péricambium ne subissent pas de modification avant la naissance du cotylédon. Ils disparaissent là totalement et subitement.

La gaîne manque aussi dans ce végétal; la transformation du système tégumentaire est celle des Dicotylédones.

Le passage, bien que complet, ne demande pour s'effectuer qu'une très petite partie de la racine et le renflement supérieur. Il est des plus rapides, mais se laisse encore parfaitement analyser.

Liliacées. — L'*Hemerocallis japonica*, tout en présentant encore le type binaire, va nous faire franchir un nouveau pas; il nous montrera la formation des faisceaux destinés aux organes plus élevés que le cotylédon. Ces nouveaux faisceaux se disposeront sur les côtés des premiers, sur le même cercle, disposition commune aux Monocotylédones et aux Dicotylédones. Nous verrons aussi que cette formation n'a rien d'inconnu pour nous, c'est celle des faisceaux destinés au premier entre-nœud chez les Dicotylédones.

La plantule mesure 2 centim. 3 millim. La tigelle occupe les trois derniers millimètres. L'axe est conique jusqu'à la base de la radicule, plus haut il devient cylindrique. La structure de la racine est normale; la membrane épidermoïdale est bien caractérisée; les faisceaux vasculaires sont réunis par deux larges vaisseaux ponctués. Vers la base de la racine, on ob-

serve un nouveau changement : les larges vaisseaux du centre sont remplacés par de plus étroits. Un peu plus haut, le cylindre central prenant plus de développement, le tissu conjonctif apparaît en plusieurs points. D'abord entre les faisceaux vasculaires et la couche rhizogène : il repousse les trachées primitives vers l'intérieur, ensuite entre les faisceaux. Il ne sépare pas les faisceaux ; mais en s'étendant au milieu d'eux, il les fend en deux masses parallèles qu'il repousse contre le liber. Nous avons déjà observé ces phénomènes chez le *Dipsacus* (fig. 47, 48, pl. 18). Ces masses libéro-ligneuses se fondent ensuite en deux parties égales; chacune est caractérisée par l'orientation centripète de son bois. Elle la perd bientôt par la concentration des éléments vasculaires au milieu des demi-faisceaux libériens opposés et le report des trachées primitives en ce milieu. L'orientation sécantielle se réalise ; elle se conserve jusqu'à la naissance du cotylédon. Là, les faisceaux libéro-ligneux se divisent : la partie qui comprend l'extrémité d'un faisceau libérien se rend dans le cotylédon ; la seconde portion reste dans l'axe. Si nous rapprochons cette formation des faisceaux du premier entrenœud de celle des mêmes faisceaux chez le *Cannabis sativa*, nous leur trouvons le même mode d'origine; s'il y a une différence, elle est d'importance toute secondaire, elle tient à ce que les deux faisceaux voisins qui se rapprochent et s'unissent chez le *Cannabis* restent libres chez l'*Hemerocallis*. Dans l'un et l'autre cas, ces faisceaux empruntent leur liber à la portion médiane des faisceaux libériens radicaux; c'est bien là la genèse des faisceaux du premier entrenœud chez les Dicotylédones.

Le péricambium et l'endoderme conservent tous leurs caractères jusqu'à la naissance des cotylédons. L'étendue de la tigelle est trop courte pour que ces membranes aient le temps de se modifier. Il en est de même pour l'accroissement du cylindre central; s'il s'élargit, on doit plutôt attribuer son extension à la proximité du bourgeon qu'à toute autre cause.

Aussitôt après leur libération les faisceaux du premier

entrenœud prennent l'orientation radiale. La longueur du collet dépasse encore ici un peu la longueur de la tigelle; la structure de la tige s'observe immédiatement après l'insertion du cotylédon.

Nous abandonnerons maintenant le type binaire pour étudier diverses modifications du type quatre. En procédant toujours du simple au composé, nous passerons successivement en revue le *Commelyna tuberosa*, le *Pancratium maritimum*, qui se comportent comme le *Triglochin* et l'*Hemerocallis*, et le Glayeul avec lequel nous ferons un nouveau pas.

COMMÉLYNÉES.—Le *Commelyna tuberosa* se comporte comme une véritable Dicotylédone. Par la conduite de ses faisceaux, il rappelle le *Tropæolum :* deux pénètrent dans le cotylédon, les autres passent dans la tige.

La tigelle peut atteindre jusqu'à 1 centimètre, ce qui semble beaucoup pour une Monocotylédone. Son insertion sur la radicule est marquée par une légère nodosité due à la présence d'une gaîne. La structure de la racine est normale, la membrane épidermoïdale peu évidente. Les quatre faisceaux vasculaires se réunissent par l'intermédiaire de larges vaisseaux ponctués. Cette structure ne s'altère que dans la partie renflée de l'axe, recouverte par la gaîne, où apparaissent les premières racines adventives. En ce point la moelle se fait jour, le cylindre central s'élargit, le nombre des éléments de chaque faisceau vasculaire quadruple ou quintuple même, mais il ne faut pas se dissimuler que la présence des radicelles doit contribuer beaucoup à cette augmentation. Le diamètre des vaisseaux s'égalise. Ces éléments nouveaux ne se produisent pas sur le prolongement direct des lames vasculaires, mais en divergeant de façon à recouvrir les faisceaux libériens partiellement d'abord, totalement ensuite, par leur jonction avec les parties homologues provenant des faisceaux voisins.

Chaque faisceau possède alors la figure d'un Y à branches divergentes courbées pour s'appliquer contre le liber. Le tissu conjonctif pénètre alors au milieu des parties les plus anciennes du bois et divise complètement les faisceaux en deux

masses symétriques. La gaîne cesse à cette hauteur et l'épiderme de la tige apparaît. Les phénomènes se poursuivent sans interruption dans le cylindre central. Les trachées primitives sont séparées du péricambium par interposition du tissu conjonctif; elles sont très rapidement repoussées vers l'intérieur et se superposent, par un mouvement de latéralité, au bois déjà opposé au liber. Le diamètre du cylindre central est étroit; les faisceaux libériens restent indivis et les deux demi-faisceaux vasculaires qui les bordent se confondent en un faisceau radial. Ces faits se produisent en si peu de temps, que, dès sa base, la tigelle présente quatre faisceaux libéro-ligneux radiaux, caractéristiques de la tige. C'est ainsi que se formaient les faisceaux libéro-ligneux du Ricin. Ces faisceaux, équidistants dans la tigelle, se rapprochent deux à deux à la naissance du cotylédon, constituant deux groupes opposés. Chaque faisceau se divise en deux masses égales, et les médianes de chaque groupe, qui tirent évidemment leurs éléments ligneux du même faisceau radical passent dans le cotylédon pour en constituer les nervures. La nervure médiane est constituée par deux de ces faisceaux qui restent presque en contact; les nervures latérales fort distantes proviennent de l'autre groupe. Les faisceaux qui restent dans l'axe et qui proviennent des faisceaux vasculaires alternes avec les précédents se rendent dans la première feuille.

La couche protectrice dans le parcours de la tige agrandit et arrondit légèrement ses cellules, mais elle ne perd pas entièrement ses stigmates. Le péricambium perd simplement une ou deux cellules devant quelques-uns des faisceaux. Ces cellules sont remplacées par du liber. Le cylindre central double, toutes proportions gardées, son diamètre dans le parcours de la tigelle.

En résumé, le passage n'est pas localisé dans la tigelle; il n'occupe qu'une petite partie de cet organe et la portion terminale du pivot.

AMARYLLIDÉES. — *Pancratium maritimum.* — En somme, la conduite des faisceaux du *Pancratium* est celle que nous avons

observée chez l'*Hemerocallis*. Les faisceaux ligneux vont recouvrir les faisceaux libériens. Les masses libéro-ligneuses, en se coupant en trois parties, formeront trois faisceaux libéro-ligneux. Les latéraux passeront dans le cotylédon, le médian dans le premier entrenœud. Ces faisceaux se disposent sur un même cercle, c'est le cas des Dicotylédones. La plantule est volumineuse. La racine, longuement conique, mesure 8 à 9 centimètres. Elle est surmontée par une nodosité circulaire qui marque le point d'attache du cotylédon. Le végétal est véritablement acaule. Il n'y a pas de gaîne et la membrane absorbante semble privée de poils radicaux; la membrane épidermoïdale est fort évidente. Le cylindre central, fort étroit (il ne constitue que le huitième du rayon), présente quatre faisceaux ligneux se terminant intérieurement par un large vaisseau souvent séparé du reste du faisceau. Un très large vaisseau central réunit les quatre faisceaux. 2 centimètres au-dessous de la nodosité, le cylindre central subit une première modification. La moelle apparaît; le vaisseau central est remplacé par de plus petits qui se divisent entre les faisceaux vasculaires isolés maintenant. Plus haut, le nombre des trachées augmente d'une façon sensible, elles se groupent le long de la membrane rhizogène; leur nombre continue à s'accroître jusqu'au changement d'épiderme. Malgré ces faits, le cylindre central a conservé le facies radical dans toute sa pureté, et pourtant le départ du cotylédon aura lieu moins de 1 millimètre plus haut. Le tissu conjonctif s'introduit au milieu des faisceaux ligneux, il les sépare longitudinalement en deux masses parallèles d'abord, mais qui s'inclinent bientôt pour recouvrir de leur portion profonde le liber voisin. C'est alors que la division du liber en trois masses a lieu. La portion médiane reste immobile et conserve les vaisseaux les plus larges qui lui sont opposés. Les parties latérales flanquées sur leur côté des trachées, encore disposées dans l'ordre centripète, passent dans le cotylédon. Dans le trajet le liber marche plus vite que le bois, le dépasse et s'y superpose. Les deux faisceaux voisins, qui tirent leur bois de la même lame vasculaire radicale, s'unissent

en même temps; le cotylédon ne reçoit que quatre faisceaux libéro-ligneux. Celui qui est opposé à la nervure médiane se divise bientôt; la scission de la gaîne cotylédonnaire se produisant entre ces deux masses, la symétrie de la feuille est sauvegardée. Les faisceaux de la feuille sont radiaux, ceux qui restent dans l'axe possèdent cette disposition dès leur naissance.

Le changement d'épiderme se produit comme chez les Dicotylédones. L'endoderme et le péricambium ne subissent que peu de modifications; ils disparaissent instantanément avec l'insertion du cotylédon. Le cylindre central prend fort peu d'accroissement, il ne forme que le sixième du diamètre dans la nodosité supérieure.

En résumé, les faisceaux radiaux caractéristiques de la tige ne s'observent qu'à la base du premier entrenœud et pourtant le passage a débuté 2 centimètres au-dessous de ce point. Le collet comprendra tout cet espace.

Iridées. — *Glayeul.* — Avec ce végétal nous allons assister à la naissance de deux cercles de faisceaux libéro-ligneux. Cette disposition, nouvelle pour nous, peut s'expliquer de la façon la plus simple. Les faisceaux libéro-ligneux du premier entrenœud qui demeurent parallèles aux faisceaux cotylédonnaires, chez les Dicotylédones, sur le parcours entier de l'axe hypocotylé, s'en écartent ici aussitôt après leur formation et se rapprochent du centre formant un rang plus interne. Nous verrons un peu plus loin, chez le Dattier, les faisceaux de ce second rang (qui vont se perdre dans la première feuille) se diviser de très bonne heure, et une partie des nouveaux faisceaux se rapprocher davantage encore du centre : l'axe présentera alors trois cercles de faisceaux.

A la germination, la graine de Glayeul donne naissance à un long pivot sans radicelles, surmonté par une tigelle de 1 millimètre et demi. L'insertion du cotylédon est indiquée par une légère nodosité circulaire; cet organe reste, comme celui du *Pancratium*, en partie engagé dans la graine. La racine est normale, la membrane épidermoïdale nette. Le cylindre

central étroit forme un peu moins du 1/5 du rayon. Les faisceaux vasculaires se réunissent au centre; leur partie profonde est formée de vaisseaux ponctués beaucoup plus larges que les trachées primitives. Les premières modifications se font sentir un peu avant le changement d'épiderme; les vaisseaux larges du centre sont remplacés par de plus étroits et en plus grand nombre. Lors du changement d'épiderme, une nouvelle augmentation se produit dans le nombre des vaisseaux; on ne peut plus distinguer le tissu conjonctif qui sépare les faisceaux vasculaires et libériens; les seconds sont enveloppés par les premiers, leur face externe seule reste libre. La moelle n'apparaît qu'un peu plus haut; elle ne consiste qu'en trois ou quatre cellules; elle ne donne pas plus d'extension au cylindre central. Elle ne peut isoler les faisceaux vasculaires, mais se fait jour au milieu d'eux et les coupe longitudinalement en deux masses centripètes. Cette division est à peine achevée que les faisceaux libériens se divisent à leur tour en trois parties. Les portions médianes s'avancent vers le centre entraînant avec elles le bois correspondant et y constituent des faisceaux libéro-ligneux radiaux. La moelle disparaît dans ce mouvement; elle reparaît quand il est achevé. Les trachées primitives restées contre la couche rhizogène avec les masses libériennes latérales quittent cette membrane, gagnent l'intérieur en côtoyant le liber et vont se superposer à la face interne de cet élément pour donner naissance à des faisceaux libéro-ligneux radiaux. Les deux faisceaux voisins qui tirent leur bois de la même source s'unissent et s'avancent dans le cotylédon. Cet organe reçoit donc quatre faisceaux comme ceux du *Pancratium*; ils se comportent comme eux. Le faisceau qui forme la nervure médiane est de beaucoup le plus développé, la puissance des autres décroît en raison directe de leur éloignement de l'axe de symétrie. Conséquemment, la puissance des faisceaux qui restent dans l'axe est fort diverse, l'ordre de décroissement est entièrement inverse du précédent. Ces derniers faits se passent très rapidement, entièrement dans la nodosité supérieure; leur analyse est fort difficile, impossible

même sans avoir passé préalablement par le cas du *Pancratium* et de l'*Hemerocallis*.

L'endoderme et la couche protectrice persistent jusqu'à la naissance du cotylédon. Le cylindre central forme environ le tiers du rayon. Ce ne sont pas là les proportions de la tige!

Les phénomènes de passage débutent un peu au-dessous de la tigelle, ils s'étendent sur toute la longueur de cet organe, mais sont surtout localisés dans sa partie supérieure.

Nous passerons maintenant en revue trois cas dans lesquels le nombre des faisceaux est beaucoup plus considérable. Nous pourrons voir dans le Maïs la formation de faisceaux libéro-ligneux dont le bois embrasse en partie le liber; dans le Dattier, la naissance d'un axe présentant plusieurs cercles de faisceaux; enfin nous aurons le maximum de complication avec le *Canna lutea*.

Graminées. — Le *Zea Maïs* présente des phénomènes de passage relativement peu compliqués, ses faisceaux ne se disposent sur plusieurs cercles qu'au-dessus du cotylédon, près de la première feuille.

La plantule est encore attachée à la graine par le scutelle. Elle comprend une radicule cylindrique, volumineuse, recouverte supérieurement par la coléorhize. La tigelle, fort courte, porte latéralement de nombreuses radicelles. La structure de la racine des Graminées est trop connue pour en renouveler la description. Le pivot du Maïs présente douze à quatorze faisceaux vasculaires linéaires, à éléments de plus en plus développés, séparés par une large moelle. De grands vaisseaux ponctués sont logés dans la partie externe de celle-ci.

Cette structure se conserve intacte jusque vers le point d'attache du scutelle. Les éléments vasculaires augmentent en nombre, ils se concentrent vers la couche rhizogène, et d'unisériés qu'ils étaient plus bas deviennent plurisériés. Les trachées se séparent de la partie profonde du faisceau. Cette dernière s'adjoint une grande quantité de petites trachées qui se développent perpendiculairement à la direction primitive du faisceau radical, s'avancent au-dessous des faisceaux libé-

riens voisins. Les faisceaux ligneux ont alors l'aspect d'un T dont les branches seraient disjointes.

La partie profonde du faisceau (la branche ho izontale du T) est coupée en son milieu par le tissu conjonctif; ses moitiés sont repoussées latéralement, se superposent aux faisceaux libériens les plus proches et s'unissent aux parties homologues provenant des faisceaux ligneux voisins. Il naît autant de faisceaux libéro-ligneux qu'il y avait de faisceaux libériens. La branche montante du T, trouvant alors le chemin libre, quitte la couche rhizogène et s'avance, doucement d'abord, vers la moelle, mais quand se fait l'attache du scutelle *toutes* les masses trachéennes quittent leur place et se rendent dans cet organe par le chemin le plus court, horizontalement à travers la moelle. Il doit en être forcément ainsi pour que la diffusion des matières nutritives empruntées au scutelle et à l'albumen par l'intermédiaire de celui-ci, puisse se faire d'une façon égale. Tous les auteurs ne sont pas de cet avis (1). Ce mouvement est de moins en moins rapide au fur et à mesure que l'on se rapproche du point d'attache du scutelle. On trouvera la structure de la tige déjà accusée dans le point diamétralement opposé et les éléments encore couchés dans le voisinage de cet organe. Je pourrais m'arrêter ici, le cylindre central ne nous présente plus que des faisceaux libéro-ligneux; j'irai cependant un peu plus loin pour montrer l'origine des faisceaux ligneux en V.

Après le départ des faisceaux pour le scutelle, la structure de l'axe n'est plus symétrique que par un rapport à un plan, en raison du plus grand nombre d'éléments qui sort de l'axe du côté du cotylédon. De chaque côté de ce plan, nous trouvons un immense faisceau, puis, plus loin et achevant le cercle, un grand nombre de faisceaux plus petits complétant le cercle. Ces faisceaux, isolés jusque-là, se réunissent par agrandissement des faisceaux libériens qui marchent l'un vers l'autre et s'unissent en un anneau continu. Les faisceaux ligneux re-

(1) Van Tieghem, *Cotylédon des Graminées*, *Ann. sc. nat.*, 5e série, t. XV, p. 234.

poussés s'étalent à la face interne du liber; ils s'unissent en un anneau formé alternativement de trachées et de vaisseaux ponctués. Le liber prend alors plus d'accroissement en face des parties trachéennes; il les enfonce dans la moelle; l'anneau ligneux se déchire au milieu des vaisseaux ponctués pour se prêter à ce mouvement. Les vaisseaux ponctués restant toujours en arrière, les lames vasculaires sont forcées de se courber d'abord, puis de se plier en V pour rester continues. Le liber se concentre au milieu des branches. Les faisceaux réalisent alors le facies particulier à un grand nombre de Monocotylédones.

Les faisceaux se rapprochent alors du cylindre cortical, mais ils ne se disposent plus sur un seul rang. Les plus petits forment un cercle externe; les plus grands font saillie dans la moelle et simulent un second cercle.

Fait particulier, les gros vaisseaux isolés de la moelle de la racine se continuent jusqu'à la naissance de la première feuille. Du reste, à partir de ce point la structure de l'axe change complètement; les faisceaux se disposent sur plusieurs cercles.

Palmiers. — *Dattier.* — L'axe hypocotylé du *Phœnix dactylifera* peut mesurer 7 à 8 centimètres. Il est très légèrement conique, presque cylindrique. Son aspect extérieur est le même sur tout son parcours. Supérieurement il est terminé par une nodosité qui indique la naissance du cotylédon. Il n'y a pas de gaîne. Le système tégumentaire de la racine, formé par plusieurs couches de cellules subéreuses formant le tissu épidermoïdal, recouvre entièrement l'axe hypocotylé et la partie engaînante du cotylédon. Le changement d'épiderme ne se fait qu'à la base du premier entrenœud. Une zone de prosenchyme sépare le tissu tégumentaire du parenchyme cortical.

La structure de la racine est normale. Elle présente une douzaine de faisceaux vasculaires séparés par une large moelle dont les cellules s'épaississent avec l'âge. L'épaississement est progressif, il se fait de dehors en dedans. Les faisceaux vasculaires ont le facies propre aux Monocotylédones.

Cette structure se conserve jusqu'à 3 millimètres 1/2 des cotylédons. Une première rangée de cellules parenchymateuses apparaît entre les faisceaux vasculaires et libériens et la couche rhizogène. Il faut ensuite arriver à 1 millimètre des cotylédons pour observer de nouveaux phénomènes, mais à partir de ce point, ils se pressent tellement qu'à la naissance du cotylédon l'axe présentera les faisceaux libéro-ligneux de la tige. Une nouvelle rangée de parenchyme s'ajoute à la première et éloigne encore davantage les faisceaux de la couche rhizogène. Le nombre des éléments vasculaires double, les grands vaisseaux sont remplacés par de plus petits : les diamètres s'égalisent. Des faisceaux isolés de fibres à parois épaisses apparaissent dans le cylindre cortical; ils naissent successivement et forment bientôt un cercle discontinu.

Alors commence le renversement des faisceaux vasculaires. Tous ne se comportent pas de même; ces mouvements différents sont dus à la conduite différente des faisceaux libériens : certains se divisent, les autres restent indemnes. Lorsque la division a lieu, elle se produit selon deux modes. De là trois cas :

1° Les faisceaux libériens restent indivis. Les faisceaux ligneux se fendent longitudinalement par pénétration d'une ou de deux rangées de parenchyme au milieu d'eux, puis les deux masses s'éloignent peu à peu de la couche rhizogène; elles côtoient, chacune de leur côté, le liber le plus proche, en recouvrent la face profonde, se joignent avec la masse vasculaire homologue provenant du faisceau voisin, et constituent un faisceau libéro-ligneux radial à bois centrifuge.

2° Les faisceaux libériens se divisent :

a. Ce premier cas correspond à la division ordinaire du faisceau libérien en trois parties, mais la formation du faisceau libéro-ligneux se fait par un procédé nouveau. Les faisceaux vasculaires se divisent longitudinalement comme précédemment; mais le demi-faisceau qui avoisine le liber, qui doit se segmenter, reste immobile pendant quelque temps encore. Ce liber s'allonge considérablement vers la moelle de façon à

dépasser la face interne des faisceaux ligneux; la portion qui fait saillie dans la moelle se sépare de la masse et s'avance plus profondément. Les demi-faisceaux vasculaires contournent seulement alors la masse principale du liber; dans ce trajet, l'un des faisceaux vasculaires sépare sa partie la plus profonde et l'envoie rejoindre le segment libérien isolé dans la moelle; le reste continue son chemin et s'unit à son homologue comme si rien ne s'était passé. De ce travail, il est résulté deux faisceaux libéro-ligneux : l'externe est radial; l'interne n'a pas d'orientation bien définie, sa direction est inclinée, le liber plus rapproché du centre, le bois tourné vers le faisceau qui lui a donné naissance. Ce dernier tourne bientôt sur lui-même et prend l'orientation radiale.

b. Les faisceaux libériens, par leur division, indiquent encore la formation de deux faisceaux libéro-ligneux. Cette fois, le plus grand est interne. Le plus petit a une origine absolument semblable à celle du faisceau libéro-ligneux qui prend son origine chez les *Lathyrus*, *Vicia*, aux dépens de la partie vasculaire qui ne passe pas dans les cotylédons. Le faisceau vasculaire s'enfonce légèrement vers la moelle, puis subit deux segmentations perpendiculaires. La première sépare la partie externe du faisceau; la seconde divise longitudinalement la masse profonde et principale selon le mode ordinaire. Les faisceaux internes contournent les faisceaux libériens voisins et s'y opposent. La petite masse ne bouge pas de place, mais un des faisceaux libériens envoie vers lui une petite branche qui se place extérieurement entre lui et la couche rhizogène. Ces petits faisceaux libériens sont radiaux dès l'origine; ils sont rares et forment un cercle externe.

Le départ des faisceaux pour le cotylédon a lieu aussitôt après la naissance des faisceaux libéro-ligneux. Six faisceaux (la moitié du système conducteur radical) symétriquement placés quittent le cylindre central et passent dans la feuille séminale. Ils se superposent aux faisceaux fibreux corticaux et les entraînent.

En résumé, le passage s'opère complètement chez le Dattier

dans l'axe hypocotylé. Il est localisé dans les trois millimètres supérieurs, mais la plus grande partie des phénomènes se produit dans le dernier millimètre. Dans le premier entrenœud les faisceaux se divisent un grand nombre de fois et se disposent sur quatre, cinq et six rangs.

Amomacées. — *Canna lutea.* — La graine des *Canna* donne naissance à une plantule fort volumineuse, acaule dans toute l'acception du mot. L'axe hypocotylé se compose d'une racine principale qui se distingue si peu des racines secondaires, qu'il faut un certain soin pour l'en séparer. Ces dernières sont fort nombreuses et prennent toutes naissance de la partie supérieure de l'axe. Elles perforent la coléorhize en nombre de points. On en peut trouver plusieurs verticelles de huit.

Nous prendrons le végétal à la base de la gaîne. Le pivot en ce point possède entièrement les caractères de la racine. Il est protégé par une zone de cellules subéreuses analogue à celle du Dattier. Son cylindre central présente le type huit. Les faisceaux vasculaires sont unis par deux larges vaisseaux ponctués, séparés de tous les faisceaux par une lame de parenchyme.

Peu au-dessus, le cylindre cortical s'unit à la gaîne; les membranes protectrice et rhizogène disparaissent. Le cylindre cortical est sillonné par le passage des nombreuses radicelles. Pour leur donner attache, le cylindre central perd sa structure radicale qu'il ne recouvrira jamais; son diamètre s'accroît et il passe du type huit à un type plus élevé, mais qu'on ne peut définir, car la formation des faisceaux libéro-ligneux commence en des points différents, immédiatement après le départ des radicelles. C'est une première complication, ce n'est pas la seule! La division et le renversement des faisceaux se fait tellement rapidement que leurs éléments deviennent horizontaux. Il n'est plus possible de rien démêler dans le cylindre central. Pourtant les phénomènes doivent être ceux que nous avons décrits chez le Dattier, car lorsque les éléments reprennent leur marche verticale, nous retrouvons la même disposition des faisceaux : extérieurement, plusieurs cercles de faisceaux radiaux; plus près du centre, des faisceaux à orien-

tation latérale. La conduite de ces faisceaux est ensuite celle des faisceaux du Dattier. Je ne m'attarderai pas à la décrire.

Après avoir rencontré des végétaux où le *collet* mesure plus d'un décimètre, nous terminons avec le *Canna*, où peu s'en faut que cette région ne soit réduite à un plan. Ce cas, exceptionnel chez les Dicotylédones, où la tigelle manque rarement, doit être fréquent chez les Monocotylédones, et j'en parle savamment, ayant dû abandonner un grand nombre de sujets qui se comportaient comme le *Canna*. Il y a là un caractère différentiel des deux ordres à ajouter à ceux déjà connus.

TROISIÈME PARTIE

CRYPTOGAMES VASCULAIRES.

La difficulté de me procurer des échantillons en état convenable fait que j'ai dû borner mes recherches aux deux familles des Fougères et des Lycopodiacées.

Le passage se fait d'une façon tellement identique dans les végétaux étudiés, qu'il me semble que je puis déjà conclure que le collet se trouve localisé ici d'une façon bien plus constante que chez les Phanérogames. Le passage s'opère complètement dans le voisinage du pied ; il n'embrasse guère plus de l'épaisseur de cet organe. Le passage est des plus rapides : le collet presque réduit à un plan. Il y a là un caractère différentiel important à ajouter à ceux des deux embranchements. La structure des faisceaux de la tige diffère si peu, chez les Fougères et les Lycopodiacées, de ceux de la racine, qu'il y a prédisposition à un passage rapide et dont on peut suivre entièrement et facilement toutes les phases. En serait-il de même chez les Équisétacées, où la disposition des éléments libéro-ligneux de la tige rappelle celle de ces mêmes éléments dans la tige des Phanérogames? Le cas serait plus particulièrement intéressant.

LYCOPODIACÉES

Établissons d'abord nos points de départ et d'arrivée. La racine rappelle la racine primaire des Phanérogames. Elle n'en diffère que par la naissance toute spéciale des radicelles. La couche rhizogène n'est pas prolifère. La structure de la tige est variable selon les genres, mais la structure des faisceaux est identique. Des faisceaux ligneux cunéiformes formés de vaisseaux étroits (trachées) vers la pointe, de vaisseaux larges (scalariformes) vers la base; ces faisceaux sont isolés ou géminés opposés par leur base, toujours complètement enveloppés par le liber. Lorsque l'axe présente plusieurs de ces faisceaux ils se disposent parallèlement. Chacun peut avoir une gaîne particulière, il n'existe parfois qu'une gaîne générale.

Selaginella denticulata. — La tige des Sélaginelles a pour caractère particulier de présenter des faisceaux libéro-ligneux isolés, protégés par une gaîne particulière et réunis au tissu fondamental par l'intermédiaire de trabécules qui laissent entre eux de larges canaux aérifères. C'est à une tige ainsi constituée que nous devons arriver.

Notre végétal se compose d'un petit prothalle sphérique, moins gros qu'une tête d'épingle et duquel partent inférieurement trois racines, une médiane (le pivot) et deux latérales inclinées à 45 degrés sur la première. A la même hauteur et s'engageant dans sa masse, se trouve le pied; supérieurement, la tigelle, se dichotomisant après quelques millimètres.

La racine principale ne présente qu'un seul faisceau. Elle est fort grêle et montre (fig. 69, pl. 19) un épiderme villeux à parois minces et arrondies extérieurement. Cet épiderme recouvre une assise de cellules polygonales à parois minces, mais noirâtres, subérisées et constituant la membrane épidermoïdale. Au-dessous, deux rangs de cellules également polygonales et disposées sans ordre, mais à parois légèrement épaissies, réfringentes; puis une dernière rangée de cellules également polygonales, mais à parois minces. Tous ces éléments ont un diamètre considérable comparé à celui des cellules plus in-

ternes difficilement discernables, même à un grossissement de 900 diamètres. Cet amas central comprend l'endoderme et le cylindre central. L'endoderme est formé de cellules tabulaires assez régulièrement opposées aux cellules de la dernière couche corticale, ne présentant pas les plissements caractéristiques. Formant le centre : deux éléments, d'un côté, un petit groupe de trachées disposées en coin, à pointe externe, les éléments les moins larges occupant la pointe ; d'un autre, comblant les intervalles, des cellules fort étroites, toutes semblables, difficiles à différencier en conjonctives et en libériennes.

Cette structure se conserve jusqu'au point d'attache des deux racines latérales. Ces deux racines prennent naissance à la même hauteur en face de la pointe vasculaire. Au lieu de sortir directement, comme c'est le cas ordinaire, elles s'incurvent en se fuyant dans le parenchyme cortical et sortent vis-à-vis l'une de l'autre aux extrémités du même diamètre (fig. 70).

Aussitôt après apparaît latéralement le pied. Le passage commence aussitôt. Les modifications portent sur tous les éléments à la fois et se succèdent si rapidement, que les coupes successives se présentent toujours avec un aspect nouveau. Les faisceaux vasculaires augmentent le nombre de leurs éléments, puis se reportent vers le centre. Le liber occupe peu à peu l'espace laissé libre par le bois et bientôt l'entoure de toutes parts. Au sortir du prothalle, l'épiderme change d'aspect, il se recouvre d'une cuticule et devient le véritable organe protecteur. Le cylindre central, entraînant avec lui l'endoderme, qui devient la gaîne du faisceau, s'isole du cylindre cortical par l'élongation et la dissociation latérale des cellules de la dernière couche de ce cylindre. Ainsi se forment les trabécules et les canaux aérifères et se réalise la structure de la tige (fig. 71, pl. 19).

Lorsque l'on approche de la bifurcation l'aspect du bois change. Les trachées jusque-là latérales viennent occuper le centre du faisceau. Les vaisseaux scalariformes se rassemblent

en deux groupes opposés qui entourent presque complètement les trachées. Le faisceau se prépare à la division (fig. 72).

La connaissance de ce fait est de la plus haute importance; nous allons le voir bientôt.

FOUGÈRES.

Établissons, comme nous l'avons fait précédemment, la structure type de la racine et de la tige.

La racine ne diffère de la racine primaire des Phanérogames que par le déplacement de la membrane rhizogène, constituée ici par la dernière assise du cylindre cortical, celle qui fournit l'endoderme des Mono et des Dicotylédones.

L'aspect de la tige rappelle de loin celle de cet organe chez les Monocotylédones : un nombre variable de faisceaux libéro-ligneux (un médian à la limite inférieure) disposés sur un ou plusieurs cercles concentriques et noyés dans le tissu conjonctif.

Ces faisceaux affectent deux formes : les uns sont elliptiques, les autres sont arrondis. Généralement on ne décrit que les premiers : ils sont géminés (1); ils se composent d'une gaîne commune entourant un anneau libérien également commun et des deux faisceaux ligneux formant la portion centrale. La formation de ces faisceaux ligneux est rayonnante, le centre de chacun d'eux correspond à un des foyers de l'ellipse. Ils se développent indépendamment et se réunissent par simple contact. Si nous rapprochons un de ces faisceaux ligneux de celui de la précédente sélaginelle au moment où l'axe (et conséquemment le faisceau axillaire) vont se diviser, nous serons portés à envisager d'une manière toute nouvelle ces faisceaux, vu, surtout, la présence des autres faisceaux que l'on passe trop facilement sous silence.

Ces faisceaux arrondis sont toujours beaucoup moins volumineux que les précédents; ils sont simples ou géminés.

(1) C'est là le cas le plus fréquent; mais ils peuvent être formés par un plus grand nombre de faisceaux, confondus dans leur portion libérienne, mais à bois distinct.

La gaîne et le liber sont ceux des faisceaux elliptiques. Le bois est arrondi, les trachées sont latérales, disposées en arc de cercle; elles n'occupent qu'un des côtés du cercle si le faisceau est simple (rhizomes du *Pteris aquilina*, du Polypode de chêne), elles forment deux arcs opposés si le faisceau est géminé. J'insiste sur ce point, car ce sont ces derniers faisceaux géminés à trachées latérales que nous allons voir faire suite à ceux de la racine. Chacun de ces faisceaux ligneux, pris en particulier, présente la même disposition fondamentale de ses éléments que le faisceau ligneux de la sélaginelle au-dessus du prothalle.

Nous décrirons le passage chez l'*Asplenium striatum* et l'*Adianthum acuneatum*, les phénomènes se passent absolument de la même façon dans ces deux végétaux. Je pourrai abréger l'histoire du deuxième.

Asplenium striatum. — La plantule est prise au moment où elle est encore reliée au prothalle. Pour éviter les complications j'ai choisi de préférence les échantillons ne présentant encore que deux feuilles. Le végétal est acaule. Il présente trois petites racines : une médiane un peu plus forte, l'analogue du pivot; deux latérales partant du sommet de la première au point où celle-ci pénètre dans le prothalle. Les petites feuilles partent immédiatement au-dessus du pied; elles laissent entre elles deux ou trois petits mamelons qui sont les rudiments d'autant de petites feuilles arrêtées dans leur développement.

La racine principale comprend (fig. 73, pl. 19) un épiderme à cellules arrondies extérieurement, à parois minces se relevant en nombreux poils radicaux; au-dessous, deux rangées de cellules à parois minces et noirâtres; une troisième assise d'une douzaine d'éléments à parois épaissies vers l'intérieur, fortement colorées en brun, jouant le rôle d'endoderme. Vient ensuite la dernière assise (rhizogène) du cylindre cortical; elle est composée de cellules à parois minces et en nombre moitié moindre que les précédentes. Chez les Phanérogames on observe souvent le contraire, jamais un cas semblable.

Le cylindre central comprend, outre l'assise externe non rhizogène, deux faisceaux ligneux réunis au centre et composés chacun de quatre à cinq éléments. Le liber aidé du tissu conjonctif comble les intervalles.

On trouve cette disposition jusque dans le voisinage du pied où les modifications suivantes s'observent toutes presque simultanément. L'épiderme perd ses poils, mais ses cellules ne se cuticularisent pas encore. L'épaississement interne des cellules de l'avant-dernière couche du cylindre cortical disparaît. Ce cylindre devient homogène. Les cellules de la véritable membrane rhizogène se divisent pour égaler en nombre celles de l'avant-dernière couche et rétablir la superposition typique. Le nombre des éléments vasculaires s'accroît, leurs diamètres s'égalisent.

Les trachées primitives quittent l'assise périphérique.

Les cellules libériennes en prennent immédiatement la place et enserrent complètement le bois. Le diamètre de certaines cellules libériennes s'agrandit considérablement : on reconnaît les vastes cellules grillagées de la tige. Les trachées primitives en se rétractant s'étalent le long de la masse ligneuse centrale et viennent former les deux petits arcs de cercles trachéens dont je parlais plus haut dans les préliminaires. Les véritables cellules protectrices de la racine constituent la gaîne du faisceau.

C'est alors que le végétal se libère supérieurement du prothalle, mais il présente déjà la structure d'une tige à faisceau géminé central arrondi. Nous sommes arrivés au but (fig. 74).

La formation du point végétatif et le départ des premières feuilles altèrent immédiatement cette structure. Elle ne s'observe que sur un espace très court. On devra prendre quelques soins pour ne pas la méconnaître.

Adianthum acuneatum. — L'*Adianthum acuneatum* se prête mieux encore à l'étude que le végétal précédent.

La structure de la racine est à peu près semblable. Les deux dernières assises corticales formées de six cellules égales sont disposées comme les côtés d'un hexagone. Les avant-dernières,

épaissies extérieurement, jouent le rôle d'endoderme; les dernières, de la membrane rhizogène (fig. 75).

Le passage est localisé dans les mêmes régions que chez l'*Asplenium*.

Près du pied, le cylindre central s'agrandit très rapidement; les cellules épaissies protectrices augmentent en nombre pour se prêter à cet accroissement et continuer leur rôle. Le cylindre central, d'hexagonal devient octogonal; il s'arrondit ensuite.

Le nombre des cellules protectrices monte alors à vingt. Ces cellules perdent leur épaississement interne et prennent les caractères des cellules de la gaîne. Les déplacements des trachées primitives et du liber sont ceux de ces éléments chez l'*Asplenium*. Les cellules grillagées prennent un diamètre encore plus considérable et sautent immédiatement aux yeux. Le nombre des vaisseaux s'accroît parallèlement au développement du cylindre central. Ceux qui occupent le centre sont scalariformes, les trachées se localisent en deux points opposés et extérieurs de la masse. Ce sont là nos faisceaux arrondis à trachées latérales (fig. 76).

Je terminerai en ce point, n'ayant rien à ajouter à la caractéristique du collet des Cryptogames que j'ai donnée en commençant l'étude de ce groupe : Passage des plus simples, localisé dans le voisinage du pied.

Ai-je rempli mon but? Je l'espère. S'il n'en est rien, on me tiendra compte de mon bon vouloir.

Près de cent végétaux passés en revue! Plus de sept mille coupes étudiées successivement!

CONCLUSIONS

En résumé : *Le collet plan géométrique n'existe pas.*

Il existe entre la tige et la racine une région, plus ou moins étendue selon les végétaux, dans laquelle les éléments de la racine, en s'avançant dans les parties plus élevées de l'axe, se modifient, se déplacent et prennent peu à peu la configuration, la place et l'importance qu'ils possèdent dans la tige.

La transformation de chacun des éléments est indépendante des transformations des éléments voisins ; elle peut être continue ou s'opérer en plusieurs temps plus ou moins espacés ; quelquefois lente, elle est ailleurs extrêmement rapide. Le passage peut débuter indifféremment dans l'un ou l'autre élément; tel qui inaugure ici le passage, sera là le dernier à s'adapter. Il résulte de ces faits : 1° que le collet, anatomiquement parlant, se présente, envisagé en ses différents points et chez plusieurs végétaux à la fois, avec les aspects les plus variés, en nombre incalculable (1) ; 2° que la transformation du système tégumentaire ne peut fournir aucune donnée touchant la délimitation de la tige et de la racine. Le changement d'épiderme est une des phases du passage; il se produit à des moments très divers.

Pris dans ses plus grandes dimensions le collet peut commencer dans la partie supérieure de la radicule et ne se termine que dans le quatrième entrenœud, mais il dépasse rarement les cotylédons (2). Il peut être entièrement localisé dans la radicule; occuper une partie de cet organe et tout ou partie de la tigelle; enfin, intéressant la tigelle seule, en comprendre la totalité ou une partie seulement. On voit alors avec quelles réserves on doit employer les deux noms de tigelle et de radicule, commodes, il est vrai, dans le style descriptif, mais pouvant donner lieu à des idées fausses touchant la structure de ces parties (3).

Le plus souvent le passage s'effectue complètement et doucement dans l'axe hypocotylé ; mais lorsque les éléments de la racine arrivent aux cotylédons et s'y perdent en entier sans avoir réalisé le type caulinaire, on observe un saut brusque à la base du premier entrenœud, car l'axe sorti de la gemmule

(1) Je n'ai jamais rencontré deux végétaux d'espèces différentes se comportant entièrement de même.

(2) Les Viciées seules forment l'exception.

(3) Ne pourrait-on dire portion lisse ou cuticularisée et portion villeuse de l'axe hypocotylé ?

possède toujours les éléments de la tige normalement disposés (1).

L'étendue du collet me semble surtout liée au diamètre de la plantule, plus il est grand plus vite s'effectue le passage, mais je dois ajouter que passée une dimension minima, cette cause ne semble plus avoir d'influence. L'absence de la tigelle influe aussi sur la rapidité des mouvements et conséquemment sur la longueur du collet : cette région est extrêmement courte chez les Cryptogames vasculaires et les Monocotylédones dépourvues de cet organe. Une large moelle dans la racine facilitant le déplacement des éléments rend également le passage plus rapide.

Il n'y a aucun caractère de famille à tirer de l'étude du collet, il y a seulement une certaine constance dans l'espèce ; quel que soit le développement en longueur que prenne la plantule, les éléments possèdent la même disposition sous les cotylédons (2).

Le raisonnement seul pouvait faire prévoir l'existence de cette région intermédiaire facilitant l'accommodation du végétal aux milieux très différents qu'il rencontre à sa naissance, en raison des situations extrêmement variables qu'occupent les gaînes protectrices lors de la germination.

EXPLICATION DES FIGURES

ep. Épiderme.
me. Membrane épidermoïdale.
pc. Parenchyme cortical.
e. Endoderme.
p. Péricambien.
fv. Faisceau vasculaire.
fl. Faisceau libérien.
tc. Tissu conjonctif.
c. Cambium.
pca. Procambium ou faisceaux nés du procambium.
fvt. Faisceaux destinés au premier entrenœud.
tp. Trachées primitives.

PLANCHE 15.

Fig. 1-6. Le passage chez le *Nigella Damascena*.
Fig. 1. Structure de la racine.
Fig. 1-2-3. Les transformations du système tégumentaire.

(1) Même chez les Viciées.

(2) J'ai décrit plus haut, le plus brièvement possible, page 299, les transformations anatomiques dont le collet est le siège. Je ne puis y revenir ici.

Fig. 4. Passage de l'orientation centripète à la disposition sécantielle.
Fig. 5. Orientation sécantielle.
Fig. 6. Disposition radiale.
Fig. 7-10. *Fumaria grandiflora*, passage complet.
Fig. 7. Le cylindre central de la racine.
Fig. 8. Apparition de la moelle.
Fig. 9. Formation des faisceaux libéro-ligneux.
Fig. 10. Faisceaux radiaux.
Fig. 11-15. Les différents états du cylindre central dans l'axe hypocotylé du *Raphanus niger*.

PLANCHE 16.

Fig. 16. *Viola odorata*. 5 millimètres au-dessous des cotylédons, disposition intermédiaire des f. vasculaires en Y.
Fig. 17. *Lychnis githago*. Extrémité supérieure de la tigelle. Structure presque normale de la tige. *fvr*. Faisceaux provenant de la racine. — *fvt*. Faisceaux destinés au premier entrenœud.
Fig. 18-19-20. Différentes phases du cylindre central chez le *Linum usitatissimum*.
Fig. 18. Orientation intermédiaire entre l'orientation centripète et l'orientation selon la sécante.
Fig. 19. Orientation radiale du sommet de la tigelle; — *fvr*. Faisceaux provenant directement de la racine.
Fig. 20. Structure à la base des cotylédons. Naissance des nervures latérales (*nl*) et des nervures médianes (*nm*).
Fig. 21-25. Passage chez l'*Althæa rosea*.
Fig. 21. Cylindre central de la racine.
Fig. 22. Cylindre central de la racine à 2 centimètres des cotylédons. — *nm*. Faisceaux vasculaires qui donneront naissance aux nervures médianes. — *fvnl*. Nervures latérales.
Fig. 23. Le cylindre central à 5 millimètres des cotylédons.
Fig. 24. Le cylindre central à 3 millimètres des cotylédons.
Fig. 25. Naissance des cotylédons. Les masses vasculaires au moment de la séparation de ces organes.
Fig. 26-28. *Impatiens glanduligera*.
Fig. 26. Racine type (C. central).
Fig. 27. C. central de la racine au point où s'insèrent les radicelles, près de l'extrémité inférieure de la tigelle.
Fig. 28. Les éléments de la nervure médiane à la base des cotylédons.
Fig. 29-30. *Tropæolum majus*.
Fig. 29. Naissance des faisceaux cotylédonnaires *fc*, et du premier entrenœud *fvt*. — *b*. Bourgeon.
Fig. 30. Naissance des faisceaux médians (*nm*) et latéraux (*nl*) des cotylédons.
Fig. 31-35. *Oranger*.
Fig. 31-33. Transformation du système tégumentaire. — 31. Racine type. — 32. Base de la racine. — 33. Tigelle. *gl*. Glande.

Fig. 34. Racine.

Fig. 35. Tigelle avant le départ des cotylédons : Un faisceau du premier cotylédon ; deux faisceaux du deuxième cotylédon, ils n'ont pas encore l'orientation radiale ; trois faisceaux provenant de la racine et destinés au premier entrenœud ; quatre faisceaux de nouvelle formation ayant la même destination.

PLANCHE 17.

Fig. 36-41. *Acer campestre.*

Fig. 36. Cylindre central de la racine un peu au-dessous de la limite inférieure du collet.

Fig. 37. Cylindre central, 8 millimètres au-dessous du changement d'épiderme.

Fig. 38. Cylindre central, 4 millimètres au-dessous du changement d'épiderme.

Fig. 39. Cylindre central de la tigelle, 5 millimètres au-dessus du changement d'épiderme.

Fig. 40. La tigelle entière, 5 millimètres au-dessus du changement d'épiderme.

Fig. 41. Une des moitiés de la tigelle vers le quatrième centimètre, fusion des faisceaux libéro-ligneux.

Fig. 42-44. *Ervum lens.*

Fig. 42. Cylindre central de la racine : *fl'*, fibres libériennes.

Fig. 43. Cylindre central de la tigelle, un peu au-dessous des cotylédons. *fv*, faisceaux vasculaires primaires ; *bs*, bois secondaire ; *fvc*, faisc. vasculaires destinés en partie aux cotylédons; *fvt*, faisceau vasculaire destiné à la tige.

Fig. 44. Cylindre central du premier entrenœud un peu au-dessus des cotylédons. Le résidu ligneux radical *rr* forme une étoile à trois branches; *rfvc*, résidu des faisceaux *fvc* de la figure précédente ; *ff*, faisc. foliaires; *fr*, faisc. réparateurs.

Fig. 62-63. Transformation du système tégumentaire chez l'*Atriplex hastata.*

Fig. 62. Racine. — 63. Tigelle.

PLANCHE 18.

Fig. 45. *Ervum lens.*

Fig. 45. Cylindre central du premier entrenœud, près de l'insertion de la première feuille. Le résidu vasculaire (ligneux) radical *rr* est composé seulement de deux faisceaux centripètes. Les autres lettres comme dans les figures. 43-44.

Fig. 46-50. *Dipsacus laciniatus* ; l'axe hypocotylé.

Fig. 46. Cylindre central de la racine.

Fig. 47. Cylindre central de la tigelle, 2 1/2 centimètres au-dessus du changement d'épiderme.

Fig. 48. Cylindre central de la tigelle, 4 centimètres au-dessus du changement d'épiderme.

Fig. 49. Cylindre central de la tigelle, 4 1/2 centimètres au-dessus du changement d'épiderme, près de la naissance des cotylédons.

Fig. 50. Naissance des cotylédons *k* et des premières feuilles. Distribution des faisceaux de la tigelle. Origine des nervures latérales des feuilles séminales.

Fig. 51-52. *Tagetes erecta.*

Fig. 51. Une partie du cylindre central, 5 millimètres au-dessus du changement d'épiderme; *tp*, trachée primitive.

Fig. 52. La même, 3 centimètres plus haut.

Fig. 53-54. *Datura stramonium*.

Fig. 53. Cylindre central à la base de la tigelle. Les faisceaux vasculaires se coupent en trois masses.

Fig. 54. Le même, 3 1/2 centimètres au-dessous des cotylédons; *tp*, trachée primitive.

Fig. 55. *Galeopsis ladanum*. Formation du cambium aux dépens du tissu conjonctif devant les faisceaux vasculaires, après séparation de la trachée primitive *tp* du péricambium *p*.

Fig. 56. *Primula auricula*. Même origine du cambium, 8 millimètres au-dessus du changement d'épiderme.

Fig. 57-61. Différents états du cylindre central de la racine du *Mirabilis jalapa*.

Fig. 57. Racine, type binaire (fig. 58). Origine et (fig. 59) complet achèvement du type quaternaire; apparition de la moelle.

Fig. 60. Division des faisceaux vasculaires en Y, et superposition de leur partie interne au liber.

Fig. 61. Cylindre central seulement; vers le changement d'épiderme. Les faisceaux libéro-ligneux *fl* sont séparés par les petites masses trachéennes qui disparaissent dans le parcours de la tigelle.

PLANCHE 19.

Fig. 64. *Castanea vesca*. Le péricambium *p*, largement séparé dans la tigelle du cambium *c*; *b*, bois secondaire; *p'*, parenchyme séparant largement les deux tissus générateurs.

Fig. 65-66. *Damasoninm stellatum*. Cylindre central de la racine et parties voisines; *tr*, trabécules.

Fig. 66. Structure de la tige près de l'insertion du cotylédon. Un seul faisceau libéro-ligneux.

Fig. 67-68. *Triglochin palustre*.

Fig. 67. Cylindre central de la racine ayant le caractère monocotylédone.

Fig. 68. Le même, après avoir pris le type dicotylédone.

Fig. 69-72. *Selaginella denticulata*.

Fig. 69. Racine.

Fig. 70. Sommet de la racine *r*, à la hauteur du pied *pd*. Naissance des deux petites racines latérales *r'*. Ces radicelles échappent à la dichotomie.

Fig. 71. Tige immédiatement après sa sortie du prothalle. La structure de la tige est déjà réalisée; *tr*, trabécule.

Fig. 72. Le cylindre central, près de la première dichotomie de la tige. Les trachées primitives sont centrales.

Fig. 73-74. *Asplenium striatum*.

Fig. 73. Racine.

Fig. 74. Le cylindre central de la tigelle à la naissance de cet organe.

Fig. 75-76. *Adianthum acuneatum*

Fig. 75. Racine (cylindre central).

Fig. 76. Le cylindre central de la tigelle, à la naissance de cet organe dans le prothalle.

Vu et approuvé, Paris, le 26 avril 1881,

Le Doyen de la Faculté des sciences,

MILNE EDWARDS.

Vu et permis d'imprimer, le 30 avril 1881,

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

GRÉARD.

DEUXIÈME THÈSE

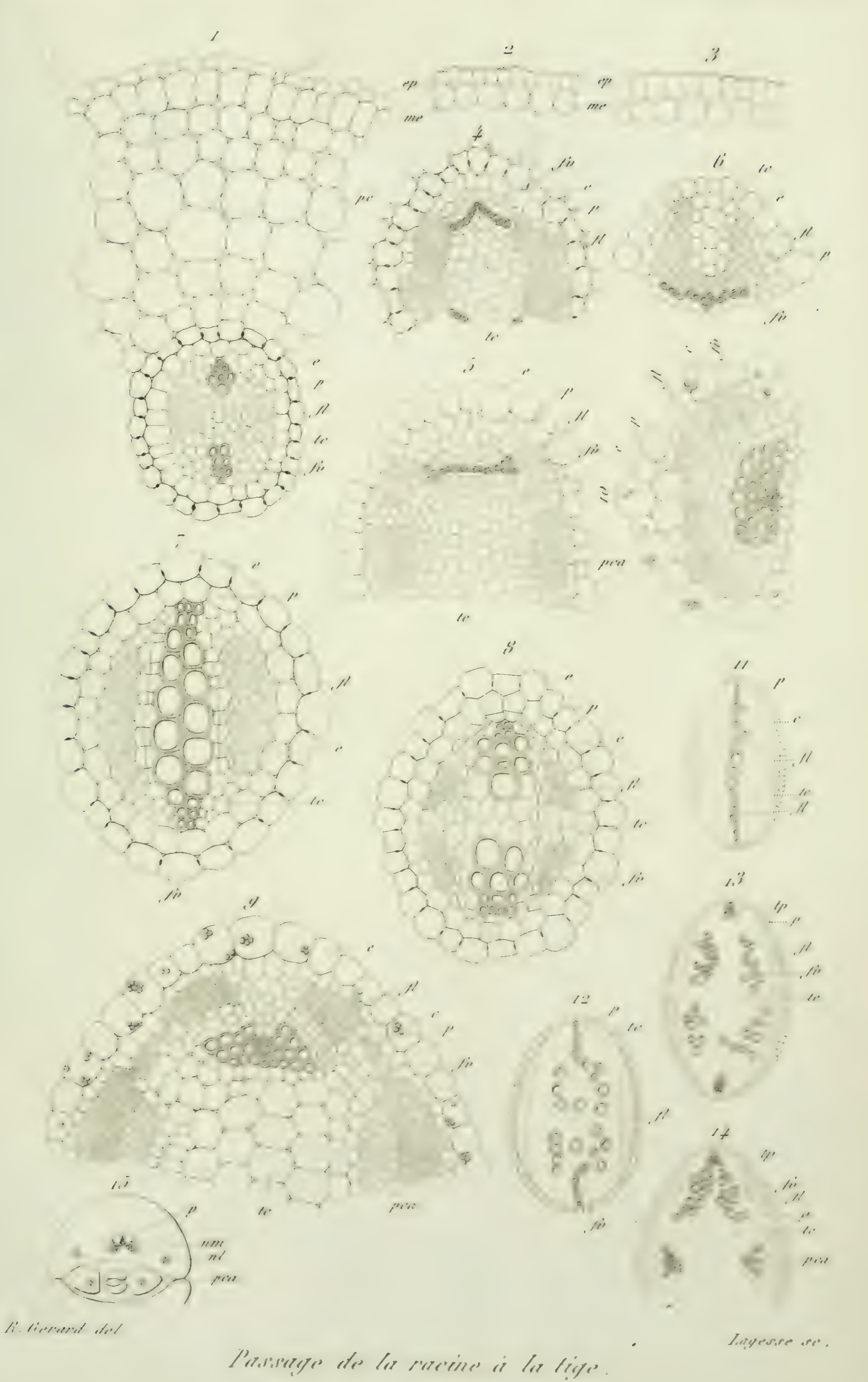
PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

ZOOLOGIE. — Examen comparatif de la vessie natatoire des Poissons et des poumons des Batraciens et des Reptiles.

BOTANIQUE. — Caractères des Légumineuses.

GÉOLOGIE. — Distribution géologique des Crustacés fossiles.

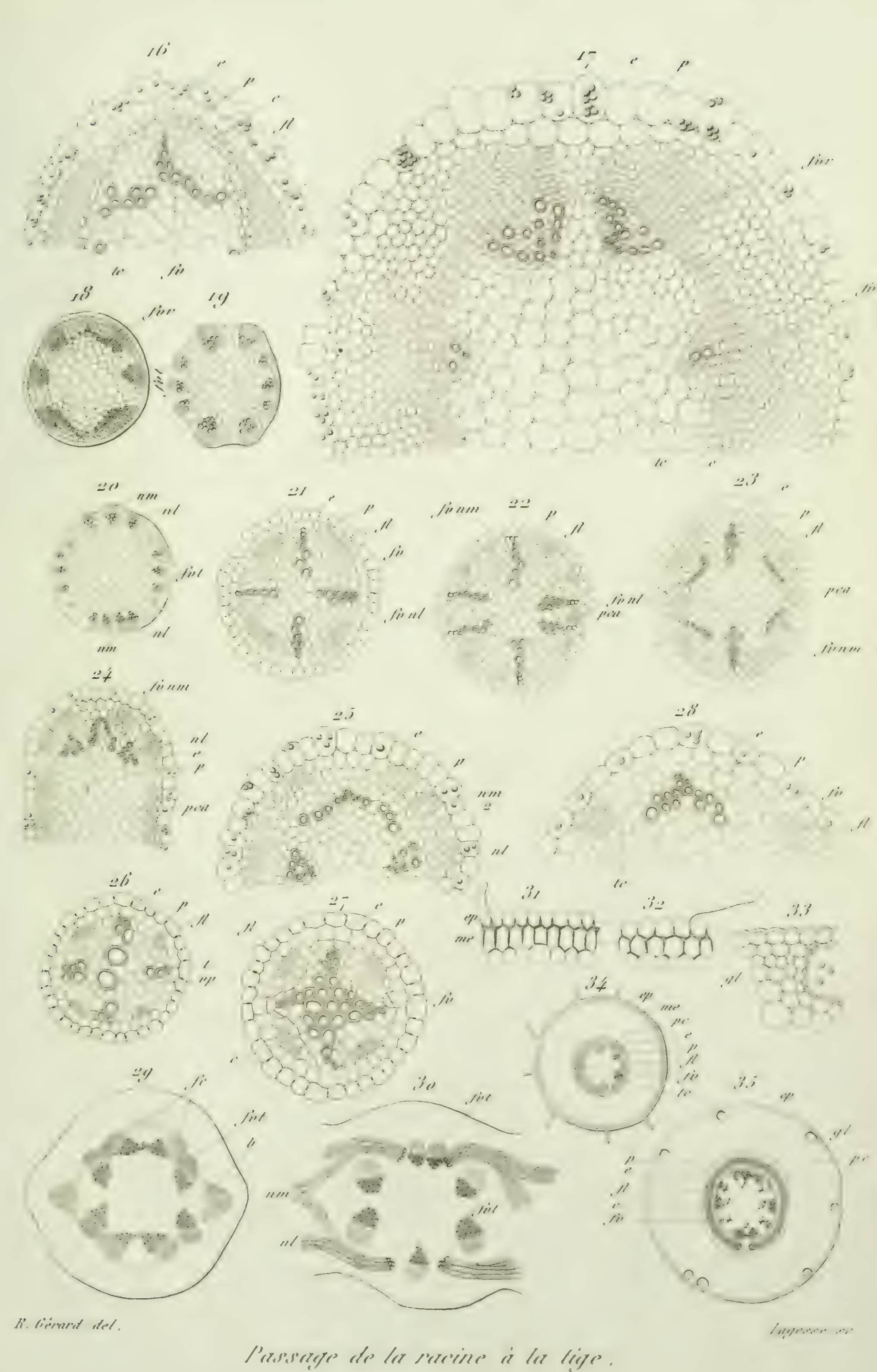
PARIS. — IMPRIMERIE ÉMILE MARTINET, RUE MIGNON, 2.



R. Gerard del. Lagesse sc.

Passage de la racine à la tige.

Imp. A. Salmon, Paris.



R. Gérard del. Lagesse sc.

Passage de la racine à la tige.

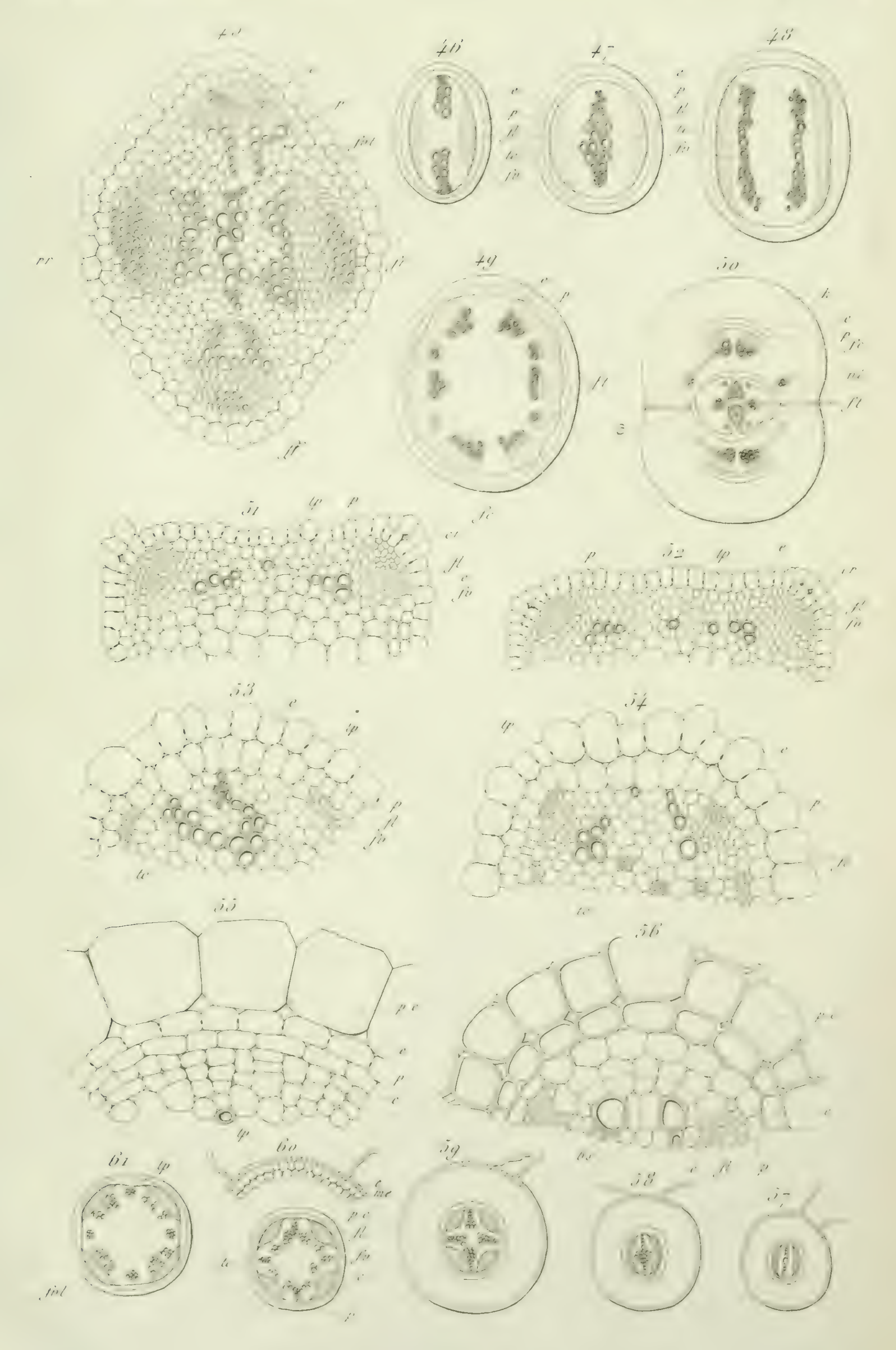
Imp. A. Salmon, Paris.



R. Gérard del. Lagesse sc.

Passage de la racine à la tige.

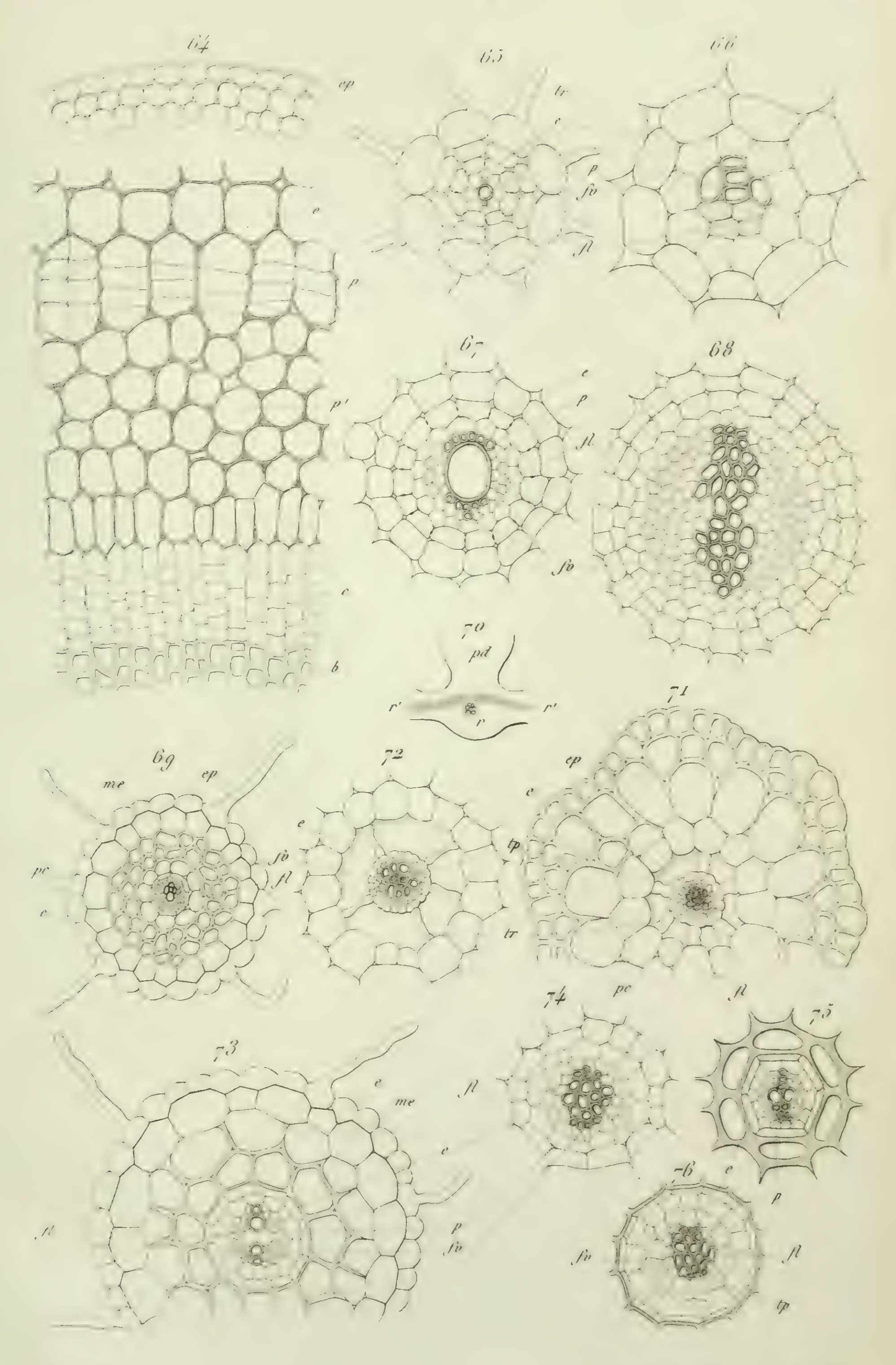
Imp. A. Salmon, Paris.



R. Gérard del. Lagesse sc.

Passage de la racine à la tige.

Imp. A. Salmon, Paris



R. Gérard del. Lagesse sc.

Passage de la racine à la tige.

Imp. A. Salmon, Paris.

